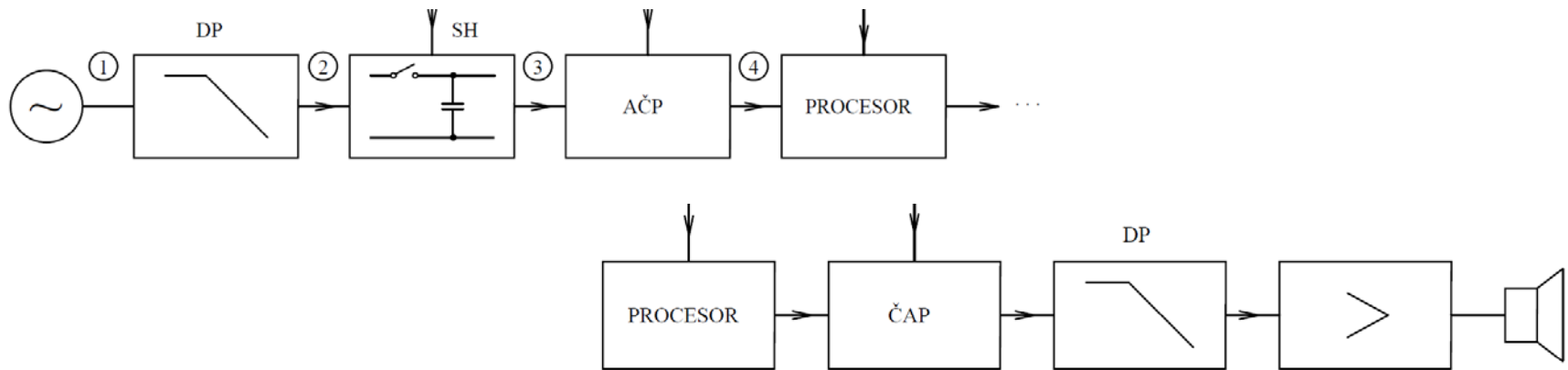


CZS – Číslicové zpracování signálů

Co to je? = Úprava, zpracování, ovlivnění vstupní veličiny na požadovanou výstupní veličinu, a to číslicovou formou



Proč CZS?

Otázkou je, proč se lidé zabývají číslicovým zpracováním signálů

Základem je fakt, že číslicové zpracování není závislé na napětí, proudu ani impedanci tak, jako při analogovém zpracování.

Jinými slovy, lze vytvářet mnohem složitější, ať už řídicí, výpočetní nebo regulační systém, příp. CZS aplikovat na poměrně nové vědní obory, jako zpracování obrazu, zvuku, kosmické technologie, apod.

Neovlivňují se ZV (na rozdíl od obvodových vlastností analogových obvodů)

Výhody a nevýhody CZS

- + nezávislost na toleranci součástek, teplotních změnách, apod.
- + žádné nastavovací prvky – vysoká reprodukovatelnost
- + možnost využívat technologie VLSI (ULSI)
- + malé množství součástek – vyšší spolehlivost
- + žádné pasivní prvky (R,L,C)
- - vyšší energetická náročnost (stále)
- - Nutnost řadit do linie CZS A/D a D/A převodníky
- ★ Hranice CZS leží na frekvenční ose a je dána A/D převodníkem (Rockwell, Analog Devices, Renesas, Acquiris, Altera,..)
- ★ Limity: nejnovější obvody FPGA obsahují na čipy převodníky se vzorkovacím kmitočtem 60Gsps/10b (cena cca 13000 Euro – r.2020), Xilinx VU13P > 2mil.Kč
- ★ Užití: DTV, DVB, DAB, Satelity, robotiky, vojenství, vesmír, lékařství, AI, DL, atd.
- ★ Pozn: V analogové formě problém zpracovat nf signály v subhertzové (mHz) a hertzovém (Hz) pásmu

HW a jeho programovatelnost umožňuje

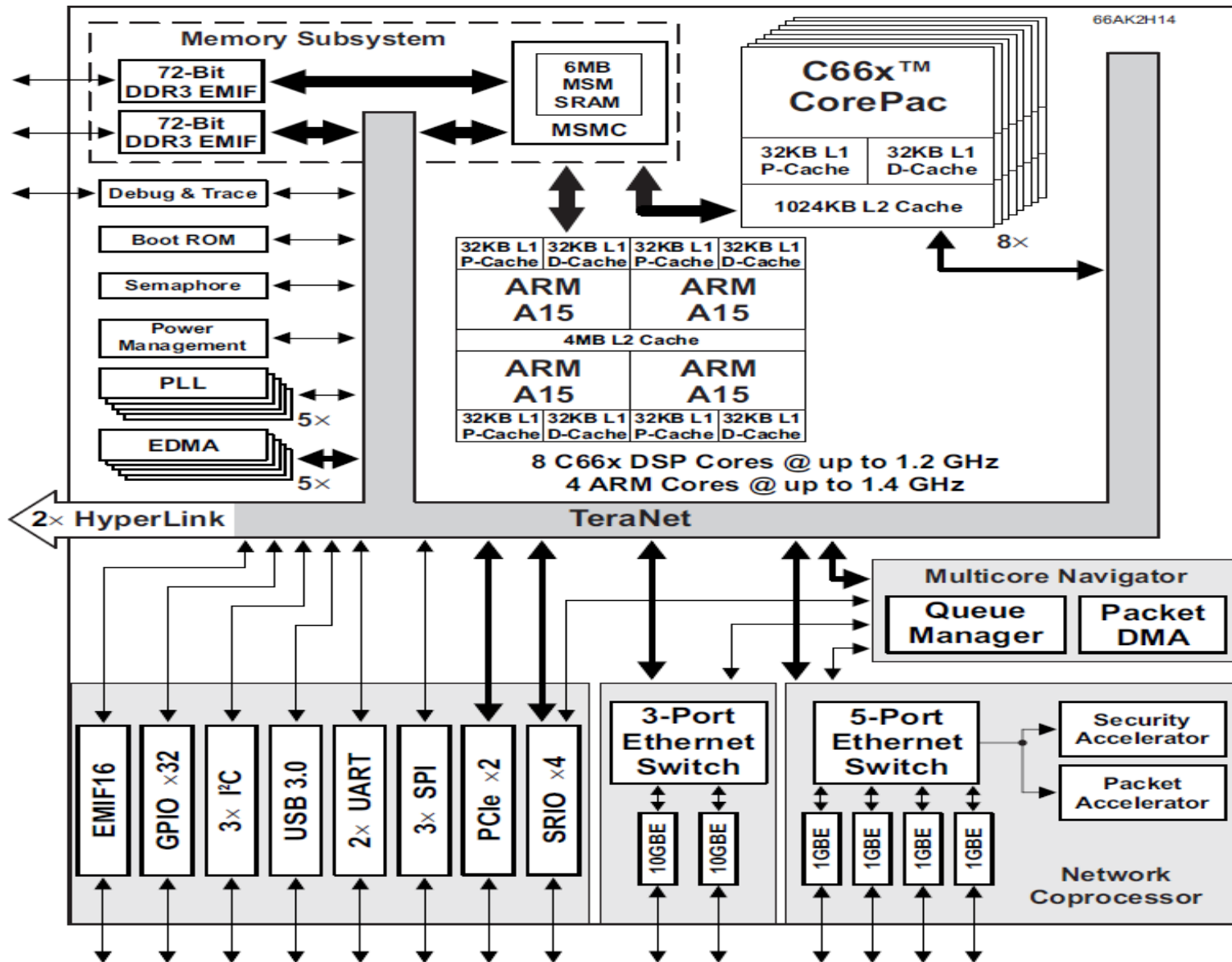
- Zobrazit a analyzovat celý proces zpracování
- Realizovat čas.závislé a adaptivní systémy
- Systémy se skutečně lineární fází
- Systémy s libovolným algoritmem zpracování a jeho snadnou rekonfigurovatelnost

Implementace CZS

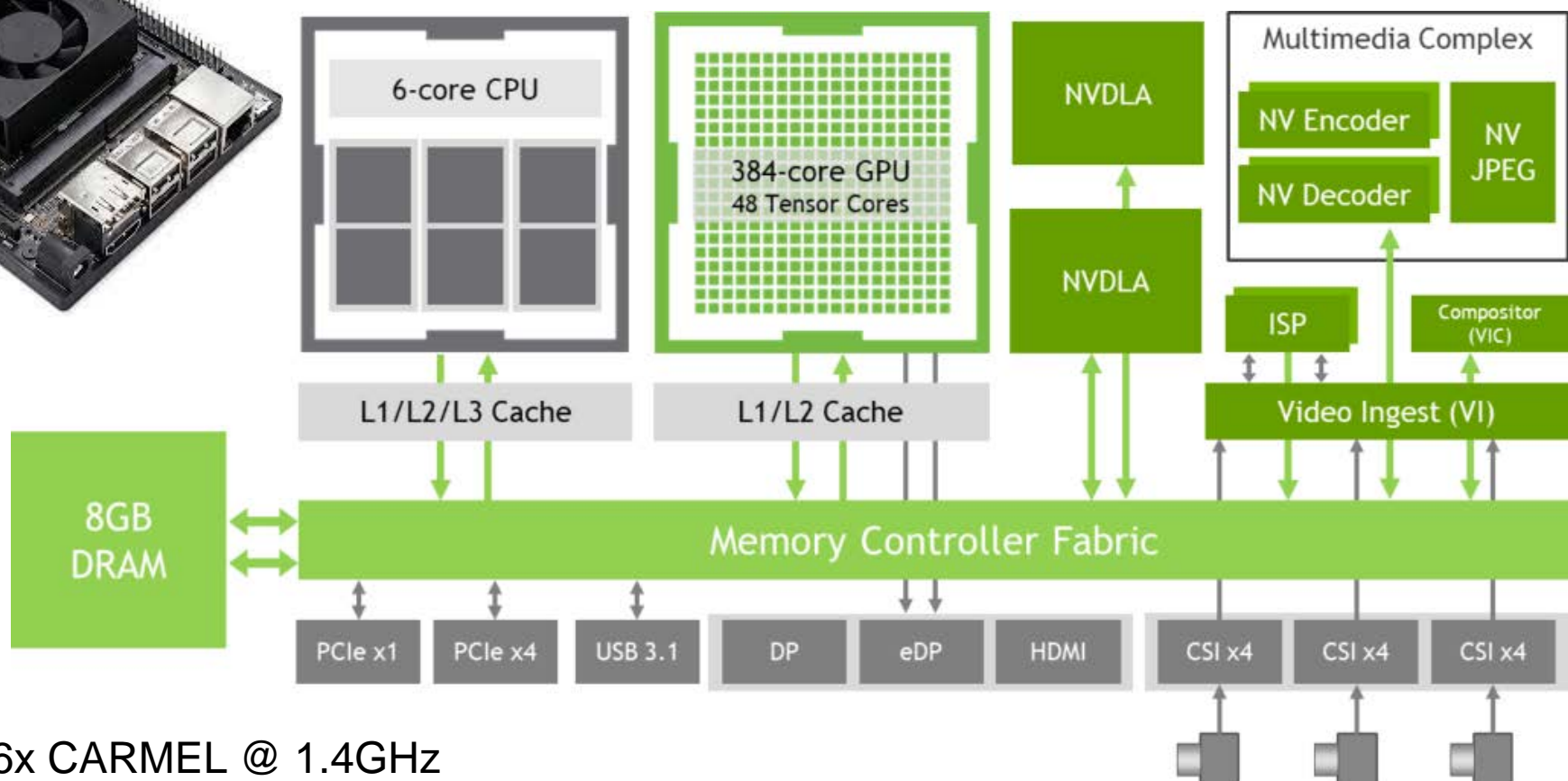
(lze rozdělit na dvě základní kategorie)

- SW implementace
 - Provedena celá v PC, užití pro off-line zpracování (tzv. nelineární čas), příp. pro nízké vzorkovací kmitočty. Stačí pro celou řadu aplikací.
- HW implementace
 - Je využívána při požadavku vysoké vzorkovací frekvence, velkého počtu konečných výrobků a při požadavku nízké ceny konečných výrobků. HW realizace dává možnost tvorby paralelních struktur (využití vícejádrových DSP, příp. obvodů FPGA, CPLD, ASIC, GPU, SoC, apod.)

KeyStone II MultiCore DSP+ARM SoC 66AK2H14



nVidia Jetson Xavier NX GPU SoC – r.2020



CPU: 6x CARMEL @ 1.4GHz

GPU: 384 Volta Cores @ 1100MHz, 48 Tensor Cores

Design CARMEL: projekt spol.nVidia (2018) postavený na jádru ARMv8 64/32b – jednoduchý HW dekodér, SW binární translace běžící pod vrstvou OS (in-order, superskalární arch., SIMD)

Verze nVidia Tegra X2, Xavier Nano osazeny jádru ARM Cortex - A57 (Cortex – A57 (64b) lehce výkonnější než CORTEX – A15 (32b TI SoC 66AK2H), ale 2x vyšší příkon)

CZS zahrnuje 2 hlavní významné pole zájmu

- Číslicová filtrace
- Spektrální analýza

Tyto 2 oblasti se vzájemně překrývají v mnoha bodech a doplňují jedna druhou.

V CZS se pracuje s daty – posloupnostmi, neboli sekvencemi dat.

Tyto data vznikají dvojím způsobem, a to:

1. Data mohou být přirozeně diskrétní v čase
2. Data jsou vzorkovanou verzí signálu spojitého v čase

SEKVENCE DAT

V CZS se pracuje s daty – posloupnostmi, neboli sekvencemi dat.

Tyto data vznikají dvojím způsobem, a to:

1. Data mohou být přirozeně diskrétní v čase
2. Data jsou vzorkovanou verzí signálu spojitého v čase

Add 1) Ze života kolem nás:

Denní min/max teploty (příp.jiná meteo data), denní/ měsíční stav na účtu, roční HDP, kurzy měn na burze, atd.

Add 2) více blíže k inž.a fyzik.vědám – analogový SIGNÁL

Řeč, zpěv, komunikace (GSM, atd), sonarový signál, radarový signál, biomedicínská data, atd. Všechny tyto signály je napřed třeba převést do číslicové podoby, a pak teprve zpracovávat.

- ★ Jaká je vzorkovací frekvence u dat obsahující roční HDP, denní min.teploty, atd.?

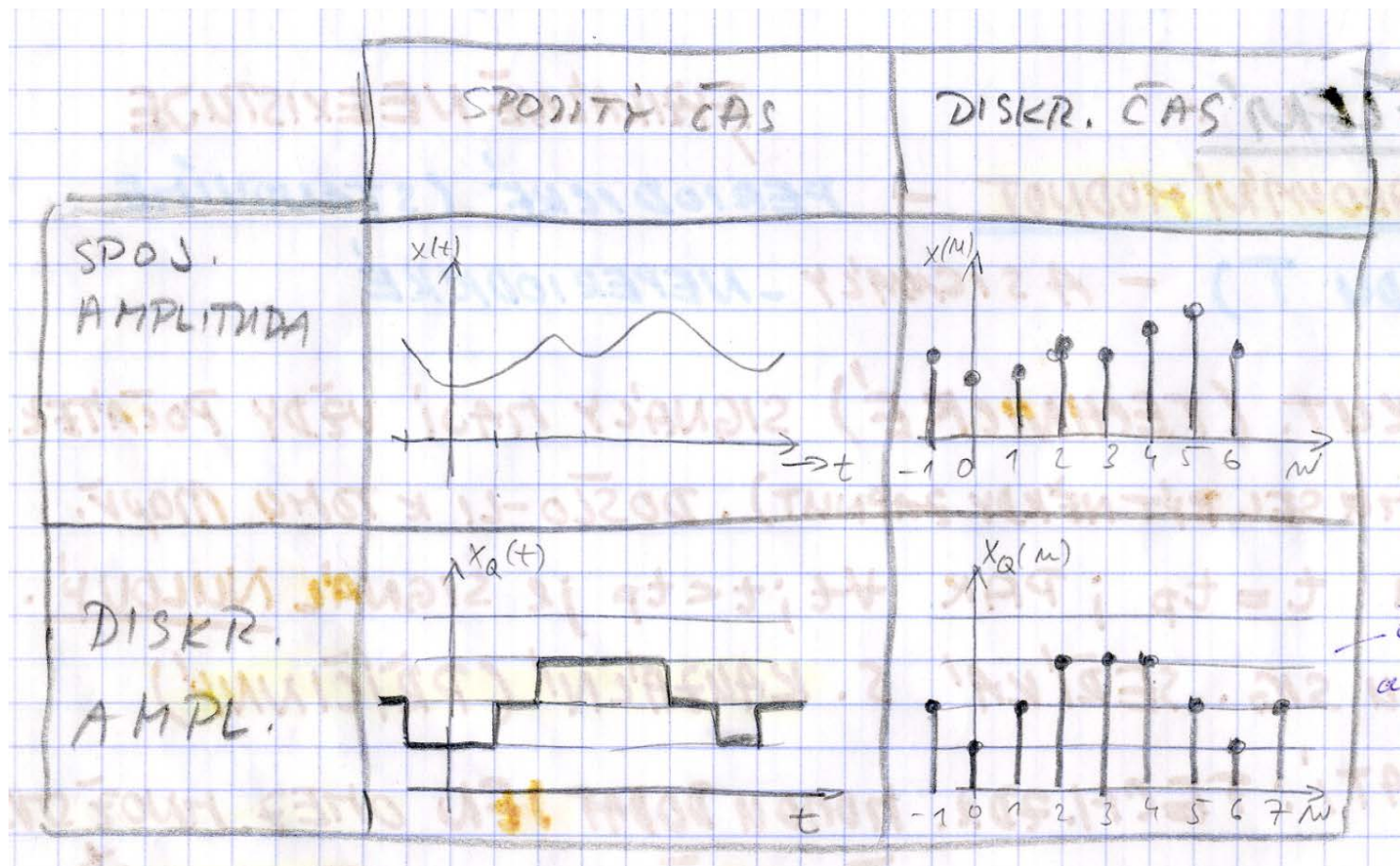
SIGNÁLY

- Pod pojmem signál se rozumí fyzikální veličina, která je funkcí času. V našem případě půjde většinou o elektrickou veličinu, jako je U nebo I .
- Signál lze samozřejmě popsat i ve frekvenční oblasti
- Dělení signálů
 - Dle opakování hodnot
 - Periodické (fyzikálně neexistuje)
 - Neperiodické (z definice všechny)
- ★ Skutečné (TECHNICKÉ) signály mají vždy počátek (zdroj musel být někdy zapnut). Došlo-li k tomu např. v čase $t=t_p$, pak pro všechna $t > t_p$ je signál nulový. Takovému signálu říkáme signál KAUZÁLNÍ, neboli příčinný.
- ★ Dále platí: Technické signály mohou dodat jen omezené množství energie \Rightarrow signál je časově omezen, neboli FINITNÍ.
- ★ Rozdíl mezi s.periodickým a s.technickým (skutečným) je zanedbatelný, pokud platí, že jejich trvání je mnohonásobně menší než jejich perioda

SIGNÁLY – další dělení

- Podle definičního oboru
 - Signály se spojitým časem (def.obor je čas.interval)
 - Signály s diskrétním časem (posloupnost dat – definičním oborem je množina ekvidistantně rozložených hodnot času, nejčastěji celočíselné násobky vzorkovací periody T)
- Podle oboru hodnot
 - Signály spojité v amplitudě (nekvantované, nespočítatelně mnoho hodnot)
 - Signály diskrétní v amplitudě (Kvantované v amplitudě, počítatelný počet hodnot)

V CZS se budeme zabývat 4. typem signálů, které budou reprezentovány pomocí POSLOUPNOSTÍ, neboli SEKVENCÍ DAT



Dohodnuté značení

- Časově diskrétní signál je složen z posloupnosti čísel x_n , $x(n)$, $x(nT)$, $x(nT_s)$, $n \in \mathbb{N}$
 - Poslední značení uvádí, že posloupnost je odvozena z čas. spoj. signálu $x(t)$ např. vzorkováním v ekvidistantních vzorcích $t = nT_s$.
 - $T_{vz} = T_s$
 - $f_{vz} = f_s$
 - $x(n)$ značí číslo posloupnosti daného indexu
 - $\{x(n)\}$ značí celou posloupnost,
- avšak pro nás: $x(n)$ bude značit číslo i posloupnost v závislosti na kontextu

Goniom.funkce - diskretizace

DISKRETIZACE GONIOMETRICKÝCH FUNKCÍ

Máme spojité signál:

$$y(t) = A \cdot \sin(\Omega t + \phi)$$

A : amplituda

Ω : úhlová f. [rad/s]

Diskretizace:

$$t \rightarrow m \cdot T_s \quad | m \in \mathbb{N}$$

t : spojité čas [s]

ϕ : počáteční úhel [rad]

Zjednodušení

$$A = 1, \phi = 0$$

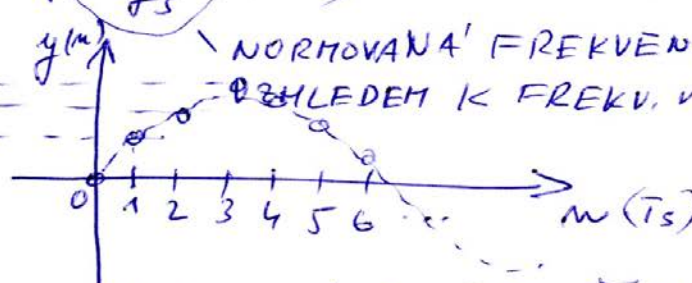
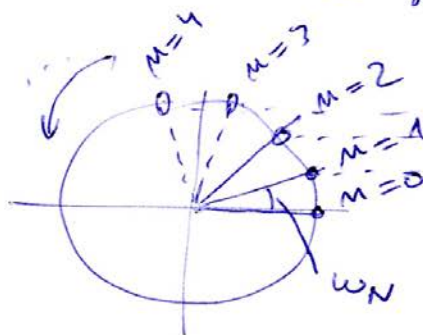
$$k. m \in \langle 0, 1, 2, 3, \dots, \infty \rangle$$

pak:

$$y(mT_s) = \sin(\Omega \cdot m \cdot T_s) = \sin(2\pi \cdot f \cdot m \cdot T_s) =$$

$$= \sin\left(\frac{2\pi \cdot f}{f_s} \cdot m\right)$$

[rad]



NORMOVANÁ FREKVENCE (JE TO ÚHEL!)

OHLEDNĚM K FREKV. VZORKOVÁNÍ

ROZVINUTÍ DO ČAS. ŘADY

Goniometrické funkce, normovaná frekvence ω_N [rad]

BUDEME POUŽÍ. GONIOM. FCE SIN A COS, KTERÝ:

Ω : úhlová' frekvence $\Omega = 2\pi f$ [rad/s]

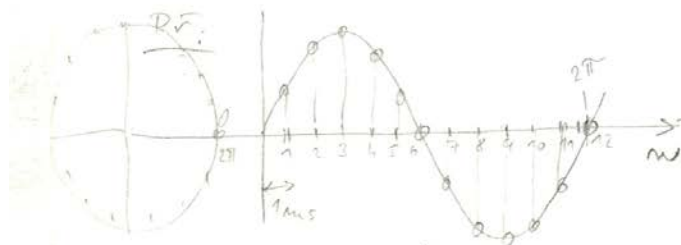
$f_s = f_{vz}$: vzorkovací' frekvence

ω_0 : diskretizované' úhl. -1-

$$\omega_0 = 2\pi f_0 \cdot T_s \text{ [rad/s]}$$

$$\boxed{\begin{aligned} \omega &= 2\pi f \text{ [rad/s]} \\ \theta &= \frac{2\pi f}{f_{vz}} \text{ [rad]} \end{aligned}}$$

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{T_0}$$



$$T_s = 1 \text{ ms}$$

$$T_0 = 12 \text{ ms}$$

~~T_s~~

$$f_0 = \frac{1}{12 \cdot 10^{-3}} \doteq 83 \text{ Hz}$$

$$\Rightarrow \omega_0 = 2\pi f_0 \doteq 523.6 \text{ rad/s}$$

$$A \cdot \cos(\omega_0 n + \phi)$$

↳ sinusová' fce
harmonická' fce

$$\frac{f}{f_s} = \frac{T_s}{T} \begin{matrix} \leftarrow \text{EN} \\ \leftarrow \text{FN} \end{matrix}$$

%

$\theta \in \omega_N$: normovaná' úhlová' frekvence P - počet vzorků / 1 per. $P = \frac{f_s}{f}$

$$\theta = \omega_N = 2\pi f / f_s = 2\pi f \cdot T_s \text{ [rad]}$$

$$f_s = \frac{1}{T_s} \text{ : vzorkovací' frekvence}$$

- CAS ne mění

f: frekvence vstup. signálu

H: bez časový' údaj, říkáme, že úhlová' frekvence vstup. signálu je / individuální
normovaná' vzhledem ke vzorkovací' frekvenci / na 1 per. vstup
signálu (sh. 6)

Gon.funkce, periodicitá, zázněje

⊗ Periodicita ^{diskr.} harmon. sig.

$$x(n) = x(n + N)$$

podíl $\frac{f_s}{f} \in \mathbb{N} \Rightarrow x(n)$ periodické

$\frac{f_s}{f} \notin \mathbb{N} \Rightarrow$ neper. \Rightarrow různé zázněje \Rightarrow buřtoritost

! rozř. period. fce minimální nář doket per. diskr. harmon. siget

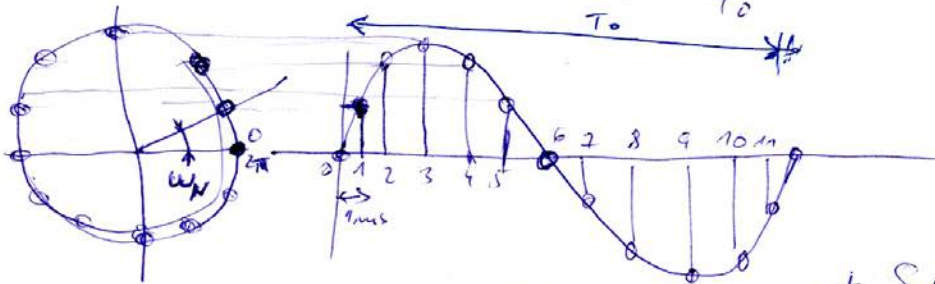
★ Jak je to u spojitých signálů?

Gon.funkce, periodicitá, zázněje

Pr:

$$T_{v2} = 1 \text{ ms} \Rightarrow f_{v2} = 1 \text{ kHz}$$

$$T_0 = 12 \text{ ms} \Rightarrow f_0 = \frac{1}{T_0} = 83 \text{ Hz}$$



$$P = \frac{f_s}{f} = \frac{1}{T_s} \quad \checkmark \quad 19.9.11$$

P : perioda

$n \in \langle 0; P \rangle$: zobrané 1 periodu

kvint: rozdíl: $p = \frac{T_s}{1} = \frac{f}{f_s} \in \{N\}$

$\frac{f}{f_s} \in \{N\} \Rightarrow$ rozdelením doby period získať sa stále stejné vzory

$$\notin \{N\} = -1 -$$

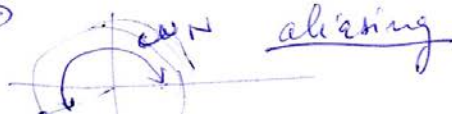
získaním nové vzory \Rightarrow min. per. 1
 \Rightarrow nová vzorka

periodicitá $x(n) = x(n + kP)$

\Rightarrow záda: rozdelením period. fce musíme vždy dostát per. fci
- to má ale moc problémů

probl: při velké ω_N (blíže se k π) klesá počet vzorků na periodu a zázněje s projevují nestabilita \Rightarrow maximální

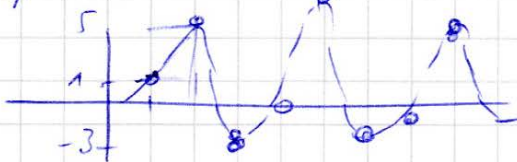
$$\omega_N > \pi \Rightarrow$$



Pojem času a frekvence v diskrétním signálu

Pojem času a frekvence v diskrétním signálu

pt: máme seřazená data: $x(n) = [1, 5, -3, 0, 7, -2, -1, 5, \dots]$

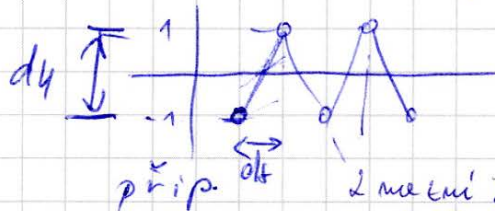


$$SR = \frac{du}{dt}$$

$$f = \frac{SR}{2\pi V_p} \Rightarrow \text{pro max změnu } f = \frac{du}{dt \cdot 2\pi \cdot V_p}$$

zde $du = V_p, dt = T_s$

to souvisí s amplitudou a s ~~časem~~ max. frekvencí diskř. signálu = obzle přechod 29.9.14 milon



přip.

2 máme stejný sig. za čas T_s (29.9.2014)

$[1, -1, 1, -1, 1, -1, \dots]$ - max a min hodnoty

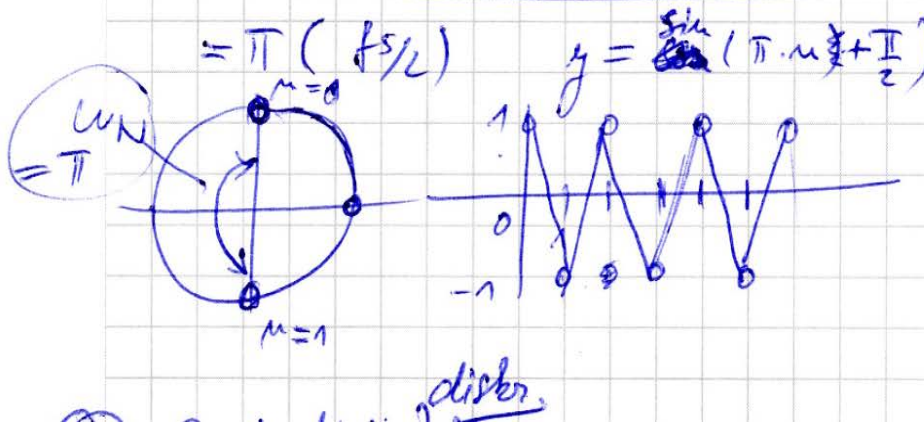
$[1, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, \dots]$

$$f = \frac{V_p}{T_s \cdot 2\pi \cdot V_p}$$

Max. frekvence nesená v diskrétním signálu

max. frekvence nesená v diskrétním signálu

$$f = \frac{v}{\lambda} \Rightarrow \\ \Rightarrow f_s = 2\pi f$$



$$y = \sin(2\pi f \cdot n T_s + \frac{\pi}{2}) ; f_s = 2f \\ = \sin\left(\frac{2\pi f}{2f} \cdot n + \frac{\pi}{2}\right) \\ = \sin\left(\pi \cdot n + \frac{\pi}{2}\right)$$

Goniometrické funkce - příklady