

Západočeská univerzita v Plzni (ZČU)  
Fakulta elektrotechnická (FEL)  
Katedra elektroniky a informačních technologií (KEI)

---

Předmět: **Číslicové zpracování signálů (CZP)**  
Organizace: 2+2 [hodin přednášek / cvičení za týden]  
Kredity: 5  
Přednášející: Ing. Vladimír Pavlíček, PhD.  
Cvičení: Ing. Vladimír Pavlíček, PhD., Ing. Pavel Broulím, Ph.D.  
Výuka: LS 2020/21 (14.2.2022 – 18.5.2022)  
Místnost: **každé úterý, UP-115, 3-4h (9:20-11:10h) - přednášky**  
Online: =  
Poslední změna: Únor, 2022

## Podrobnější heslovitý obsah přednášek z předmětu **Číslicové zpracování signálů (CZP)**

(obsah neredukován, bude se příp. upravovat v průběhu výuky)

1. (15.2.) Úvod, literatura, proč CZS, historie – 17.-20.století, signály definice + rozdělení, výhody vs.nevýhody CZS, základní signály používané v CZS
2. (22.2.) Pokračování základní signály používané v CZS, energie a výkon sekvence, periodičita diskretních signálů, komplexní exponenciála + harmonicky vázané komplexní exponenciály, základní operace s posloupnostmi, způsob vyjádření sekvence využitím delta funkce
3. (1.3.) Základní vlastnosti (námi probíraných) číslicových systémů: def.systému, linearita, časová invariance, relace vstup-výstup LTI systému - konvoluce, odbočka: korelace (auto k., vzájemná k.), stabilita, kauzalita LTI. Prostředky popisu LTI soustav: popis v časové a ve frekvenční oblasti, přechod mezi nimi – DTFT. Popis LTI sys v čas.oblasti – dif.rce + impulsní odezva.
4. (8.3.) pokračování popisu LTI sys diferenční rovnicí a impulsní odezvou, dále popis LTI sys ve frekvenční oblasti - frekvenční charakteristika systému, Z-transformace, systémová funkce
5. (15.3.) opak.frekv.charakteristiky sys., Z-transformace jednotlivých základních signálů, ROC, odvození sys funkce + důsledky, kořeny čitatele/jmenovatele, funkce roots(), poly(), freqz(), příklady –závěry pro ROC – ROC a stabilita, ROC a kauzalita
6. (22.3.) vzorkování, odvození vzorkování, vzorkovací teorém, aliasing ve frekvenční a časové oblasti, zamezení aliasingu, AAF filtry, převzorkování, příklad na výpočet AAF filtru, AAF filtr telefonního kanálu, princip  $\Sigma$ - $\Delta$  převodníku, skutečné vzorkování, chyby ADP – apperture a sampling jitters, SNR, ENOB, SINAD

7. (29.3.) ideální rekonstruktor (interpolátor) – sinc(x), ZOH, skutečné DAP, rekonstrukční filtry, filtry používané jako AAF a Rek.f. – rozdělení použití (informace je nesená ve frekvenční / časové oblasti), provedení těchto analogových filtrů. Dále kvantování, způsob reprezentace dat v paměti, chyby při výpočtu, vliv zaokrouhlování a ořezávání – rozložení chyby
8. (5.4.) dokončení kap.kvantování: př.na vliv zaokr./ořez.na vznik limitních cyklů, def.limitních cyklů, nelinearity typu přetečení, kvantizace amplitudy, statistický model kvantizéru – výpočty SNR + příklad na sčítání šumů. Dále popis a návrh NRDF (FIR) filtrů – teorie, vysvětlení fáze – 4 typy  $h(n)$  pro možnost lin.fáze, skup.a fázové zpoždění, pak vsuvka – okénkování + okna.
9. (12.4.) probrána ještě podrobněji metoda okénkování + některá vybraná okna, dále metody (3) návrhu FIR filtrů – M.frekv.vzorkování, M.Four.řad, M.Remezova výměnného algoritmu. Dále Popis a návrh RDF (IIR) filtrů – vlastnosti, rozdělení + podrobně aproximace BW, včetně příklady návrhu analog.BW filtru.
10. (19.4.) pokračování v popisu metod návrhu RDF (IIR) filtrů, tj. Cheb.I, II, Eliptické filtry, rozdíly jednotlivých metod, transformace  $H(s) \rightarrow H(z)$ : m.náhrady derivace diferencí, m.impulsní invariance, m. bilineární transformace, + př. návrhu číslicové dolní propusti z analogového R-C článku, transformace ve spektru: lp2hp(), lp2bp(), ...
11. (3.5.) Struktury filtrů – promítnuty fólie, namnožené papíry, dále Diskrétní unitární transformace, báze vektory, jádro transformace, př. různých jader a jejich využití, ... až DFT, vysvětlení maticového a rovnicového zápisu, vlastnosti DFT – podrobně probrána vlastnost konvoluce (kruhová) – př. Fast convolution.
12. (10.5.) Rychlá Fourierova transformace – FFT, principy, redukce počtu operací, DIT FFT, DIF FFT, pojmy: in-place algoritmy, bit-reverse. IFFT, dále spektrální analýza - frekvenční krok,  $T_0$ , zero-padding, frekv.rozlišení, prosakování ve spektru + váhování vstupních dat (okénkování).
13. (17.5.) zopakování spektrální analýzy + probrány 3 základní příklady, dále Systémy se změnou vzorkovacího kmitočtu - resampling (tj.interpolace a decimace) + chování v čas.a frekv.oblasti + př.na digitální záznamník zvuku. Poslední aplikací Číslicové harmonické oscilátory – popis,  $h(n)$ ,  $H(z)$ , struktury, parametry při výpočtu pomocí int/float, restartování

Podrobnější výčet hesel – viz přednášky.