

august 2025

github.com/OkoliePracovnehoBodu/KUT
AS

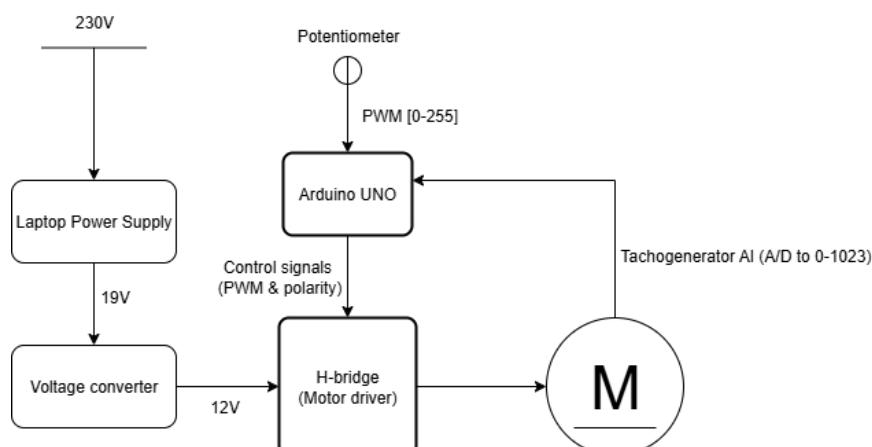
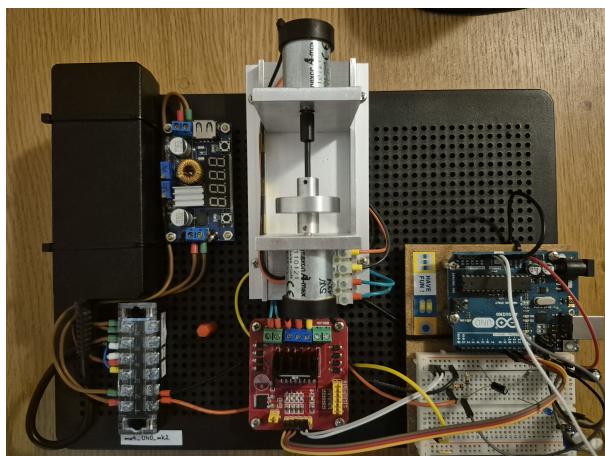
KUTdevMOTOR

Vlastnosti dynamického systému: motor-mot-UNO-mk2

CIELOM textu je opis laboratórneho dynamického systému mot-UNO-mk2.

1 Opis dynamického systému mot-UNO-mk2

Táto dynamická model obsahuje napájací zdroj z notebooku, menič napäťia a prúdu, potenciometer (ako vstupný signál), Arduino Uno a samotný motor. Motor ako vstupný signál prijíma napätie v rozsahu 0 – 12 [V], čo zodpovedá 0 – 255 diskrétnym jednotkám. Jeho výstup sa meria s rozlíšením 10 bitov, teda v rozsahu od 0 do 1023 diskrétnych jednotiek.

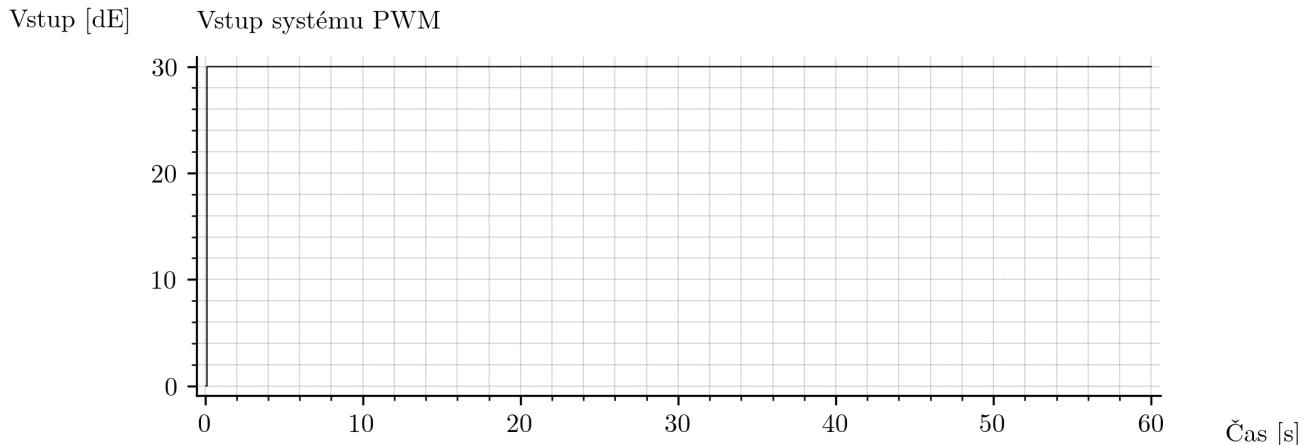


Obr. 1: Fotografia a schéma motora.

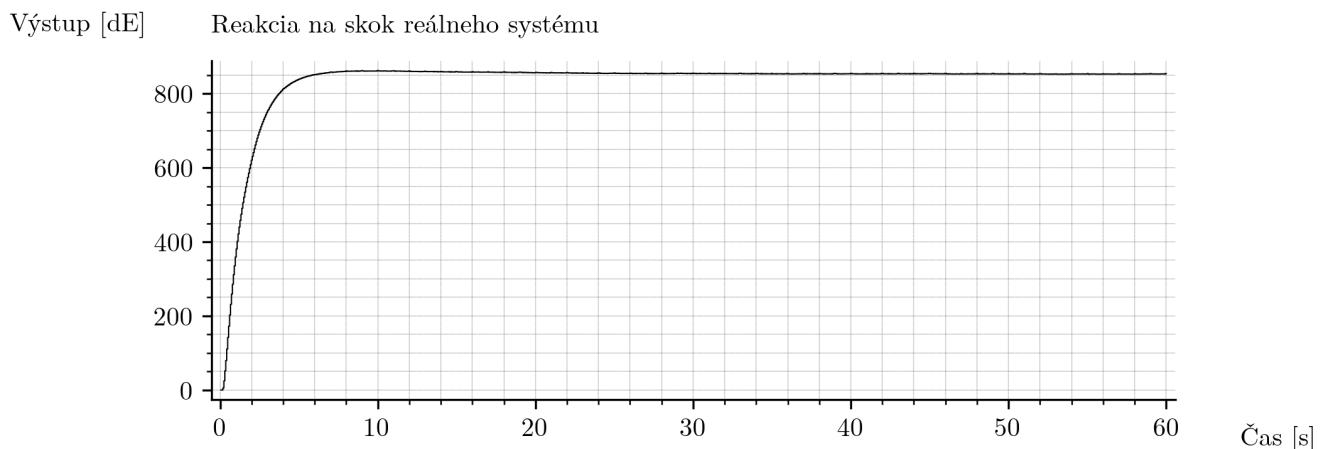
2 Prechodová charakteristika systému

Prechodová charakteristika predstavuje reakciu systému na jednotkový skok. Je dôležité zdôrazniť, že v tomto prípade nás zaujíma zmena vstupu, ktorá tento skok definuje – skok veľkosti 10 môže nastat z 0 na 10, ale rovnako aj z 20 na 30. V oboch prípadoch ide o jednotkový skok veľkosti 10 a pri lineárnych systémoch očakávame rovnaký tvar odozvy, len s inými číselnými hodnotami.

V tomto prípade analyzujeme reakciu systému na skok z hodnoty 0 na hodnotu 30.



Obr. 2: Vstupný signál systému – jednotkový skok z 0 na 30 [V].



Obr. 3: Výstup systému ako reakcia na skokový vstup znázornený na obr. 2.

Z prechodovej charakteristiky možno získať viaceré dynamické parametre systému, ako napríklad zosilnenie, čas ustálenia, odchýlku ustálenia, prekmit a ďalšie. Tieto však nie sú predmetom tejto kapitoly.

V ďalšom kroku pristúpime k identifikácii systému pomocou funkcie `tfest`:

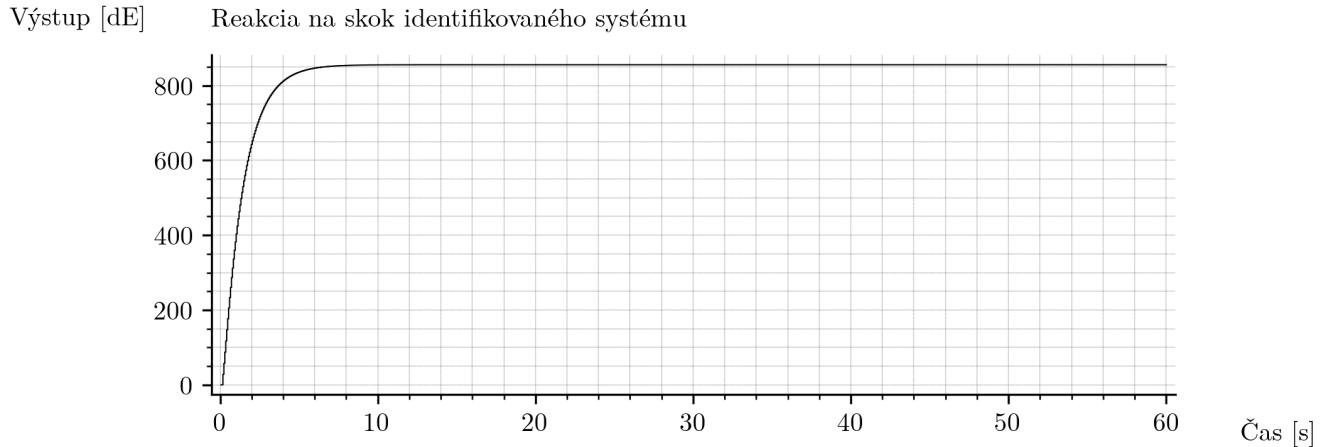
Výpis kódu 1: Identifikácia systému z prechodovej charakteristiky

```
1 data = iddata(out, in, 0.06);  
2 sys = tfest(data, 2, 1);
```

Výsledkom je prenosová funkcia systému v tvare:

$$G(s) = \frac{15,16s + 90,78}{s^2 + 4,83s + 3,183}$$

Na základe identifikovanej prenosovej funkcie môžeme simulovať odozvu systému na rovnaký skokový vstup a porovnať ju s reálou odozvou:



Obr. 4: Simulovaná výstupná reakcia identifikovaného systému.

Presnosť simulácie hodnotíme pomocou strednej kvadratickej chyby (RMSE), ktorú definujeme nasledovne:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i^{\text{real}} - y_i^{\text{sim}})^2}$$

Výpis kódu 2: Výpočet strednej kvadratickej chyby

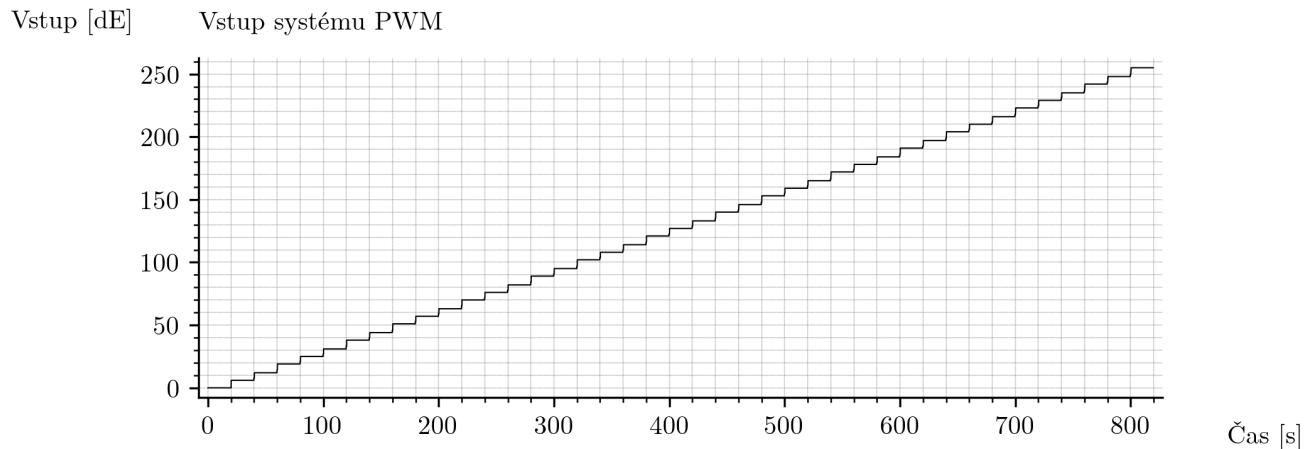
```
1 rmse = sqrt(mean((out - out_sim).^2));
```

Pre tento prípad platí: **RMSE = 5,8198**, čo predstavuje uspokojivý výsledok.

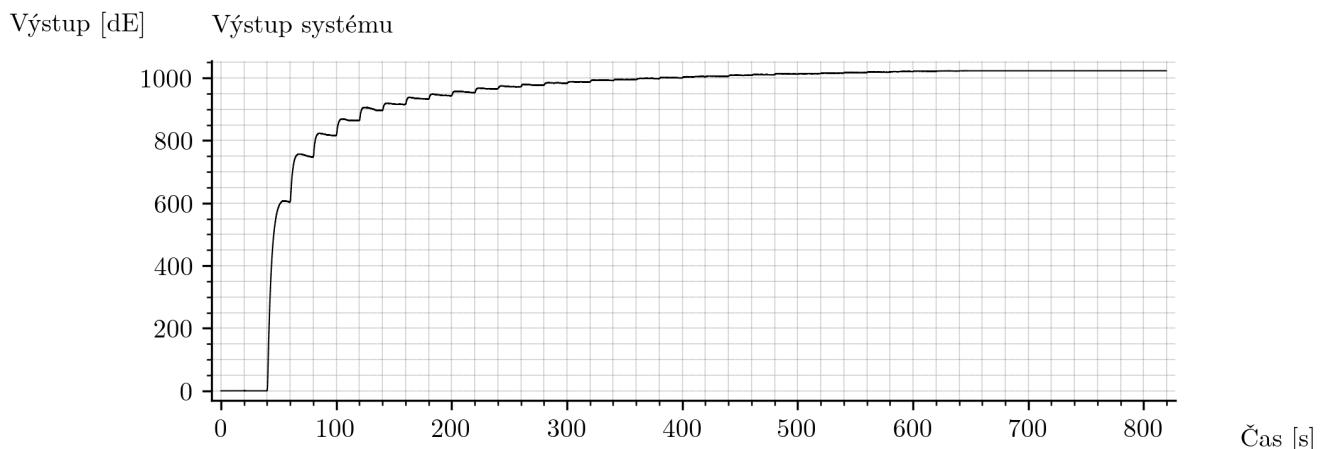
3 Statické vlastnosti: Prevodová charakteristika

V tejto časti sa zameriame na statické vlastnosti systému, teda určujeme, v akých ustálených bodech sa systém nachádza pri rôznych hodnotách vstupu.

Za týmto účelom sme vykonali meranie, pri ktorom sa vstup systému menil od 0 do 255, a to tak, že každých 20 sekúnd sa vstup zvýšil o 2,5 %. Celkovo bolo vykonaných 41 meraní počas doby 820 sekúnd.



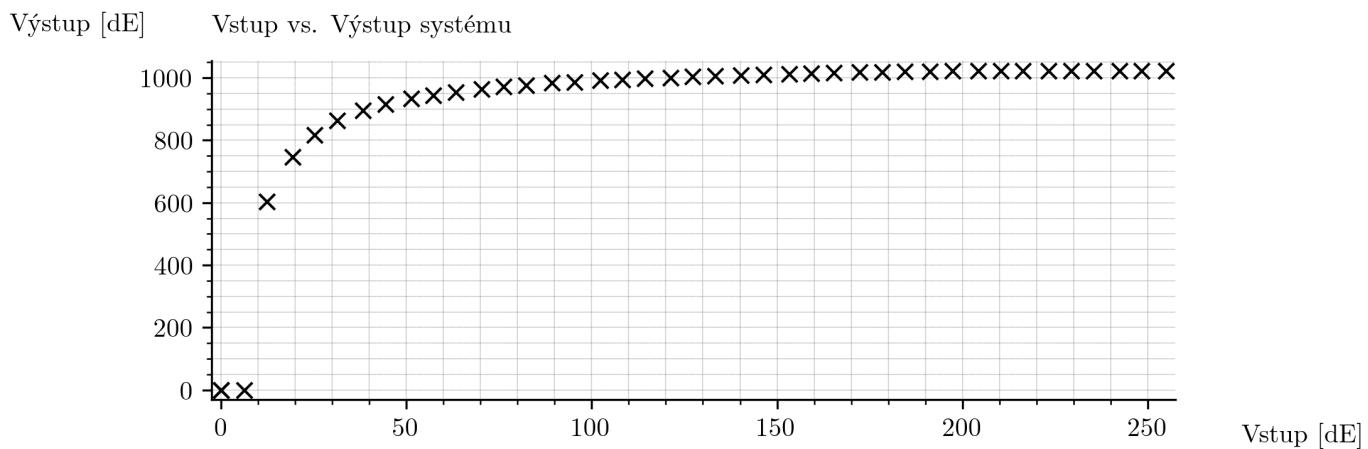
Obr. 5: Vstupný signál počas merania statickej charakteristiky.



Obr. 6: Výstup systému počas merania statickej charakteristiky.

Ako možno vidieť na výstupnom grafe (obr. 6), systém nie je lineárny. Nasýtenie systému nastáva veľmi rýchlo, čo výrazne komplikuje prácu s ním, keďže oblasť, v ktorej možno pozorovať dynamiku systému, je koncentrovaná len v počiatočnej časti rozsahu vstupu.

Na základe ustálených hodnôt vstupov a výstupov môžeme zostrojiť statickú prevodovú charakteristiku systému:



Obr. 7: Statická prevodová charakteristika: ustálené výstupy vzhľadom na vstup.

Z grafu vyplýva, že identifikovať celý systém s dostatočnou presnosťou nie je možné, pretože, ako bolo spomenuté, správanie systému je výrazne nelineárne.

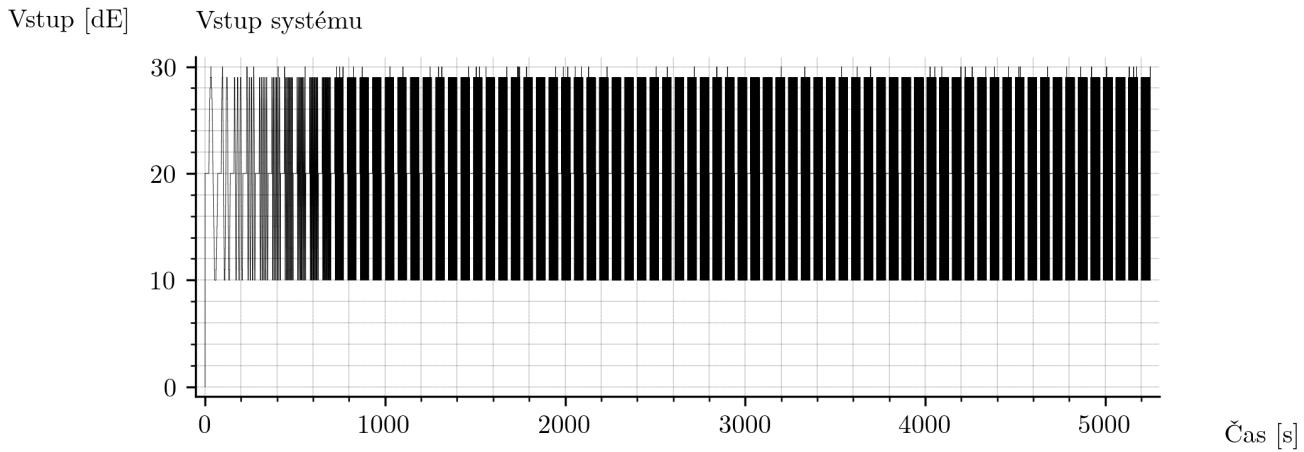
4 Frekvenčná charakteristika

V tejto časti si stručne vysvetlíme, čo je to frekvenčná charakteristika a ako ju možno určiť.

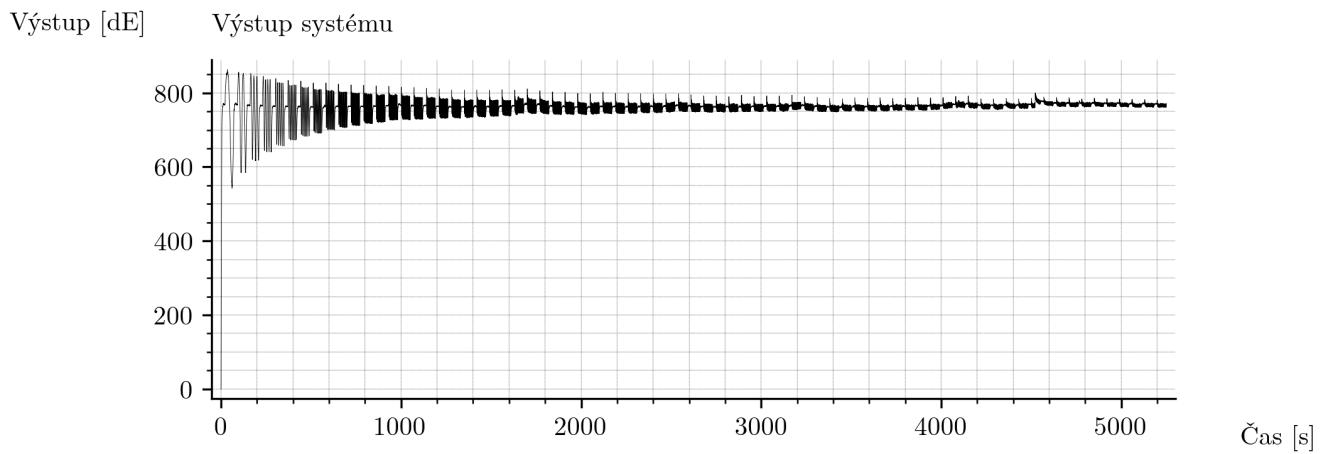
Ako vstup do systému sa používa harmonický signál s konkrétnou frekvenciou — v našom prípade sínusoida. Na výstupe systému očakávame signál s rovnakou frekvenciou, avšak jeho amplitúda, fázový posun, a často aj samotný tvar signálu, sa môže meniť. Práve závislosť amplitúdového zosilnenia a fázového posunu od frekvencie tvorí frekvenčnú charakteristiku systému, ktorá nás zaujíma.

Merania boli realizované počas 75 meračích periód, pričom každá trvala 70 sekúnd. Celkový čas merania bol teda 5250 sekúnd. Počas prvých 20 sekúnd každej periody bol na vstupe konštantný signál, aby sa systém dostal do ustáleného stavu. Následne sa počas 50 sekúnd aplikovala sínusová funkcia s pevne danou frekvenciou.

Použitý rozsah frekvencií bol od 0,02 Hz do 1,5 Hz s krokom 0,02 Hz.



Obr. 8: Vstupný signál systému počas frekvenčnej analýzy.



Obr. 9: Výstupný signál systému počas frekvenčnej analýzy.

Pre presnejší výpočet amplitúd a fázového posunu sme pri všetkých frekvenciach okrem prvej (0,02 Hz) ignorovali prvý periodický priebeh signálu.

Skript na výpočet amplitúd a fázového posunu

Výpis kódu 3: Výpočet frekvenčnej charakteristiky systému

```

1 % Frequency response calculation
2 for i = 1:N_freqs
3     if i == 1
4         f = freqs(i);
5         t_start = 20 + (i - 1) * 70;
6         t_end = t_start + 50;
7     else
8         f = freqs(i);
9         period = 1 / f;
10        t_start = t_end + 20 + period;
11        t_end = t_start + (50 - period);
12    end
13
14    idx = find(t >= t_start & t < t_end);
15    t_seg = t(idx);
16    u_seg = in(idx);
17    y_seg = out(idx) - y0;
18
19    omega = 2 * pi * f;
20    ref_cos = cos(omega * (t_seg - t_start));
21    ref_sin = sin(omega * (t_seg - t_start));
22
23    % correlation
24    U_cos = 2/length(u_seg) * sum((u_seg - mean(u_seg)) .* ref_cos);
25    U_sin = 2/length(u_seg) * sum((u_seg - mean(u_seg)) .* ref_sin);
26    A_in = sqrt(U_cos^2 + U_sin^2);

```

```

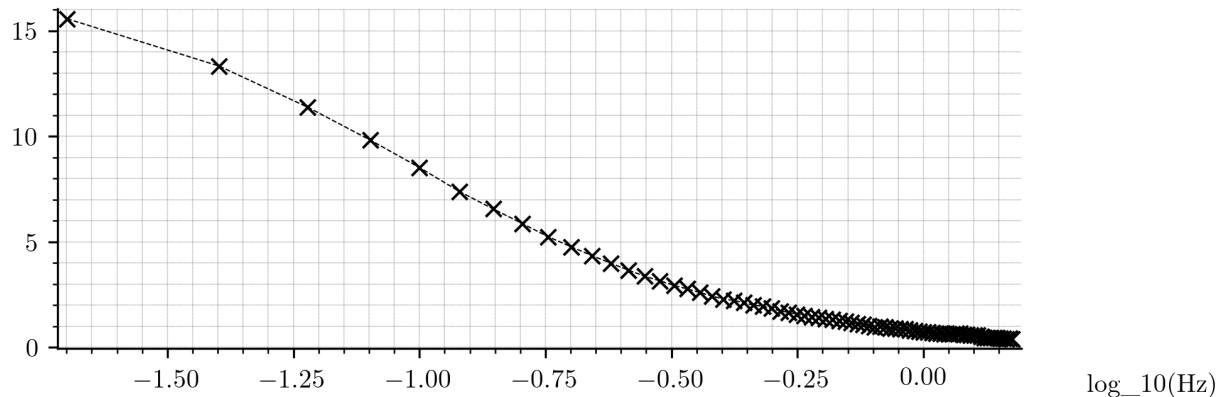
27
28     Y_cos = 2/length(y_seg) * sum(y_seg .* ref_cos);
29     Y_sin = 2/length(y_seg) * sum(y_seg .* ref_sin);
30     A_out = sqrt(Y_cos^2 + Y_sin^2);
31
32     amp_in(i) = A_in;
33     amp_out(i) = A_out;
34
35     phase_rad = atan2(-Y_sin, Y_cos);
36     phase_deg(i) = rad2deg(phase_rad);
37 end
38
39 amp = amp_out ./ amp_in;
40 phase_rad = deg2rad(phase_deg);
41 log_freqs = log10(freqs);

```

Popis výpočtu

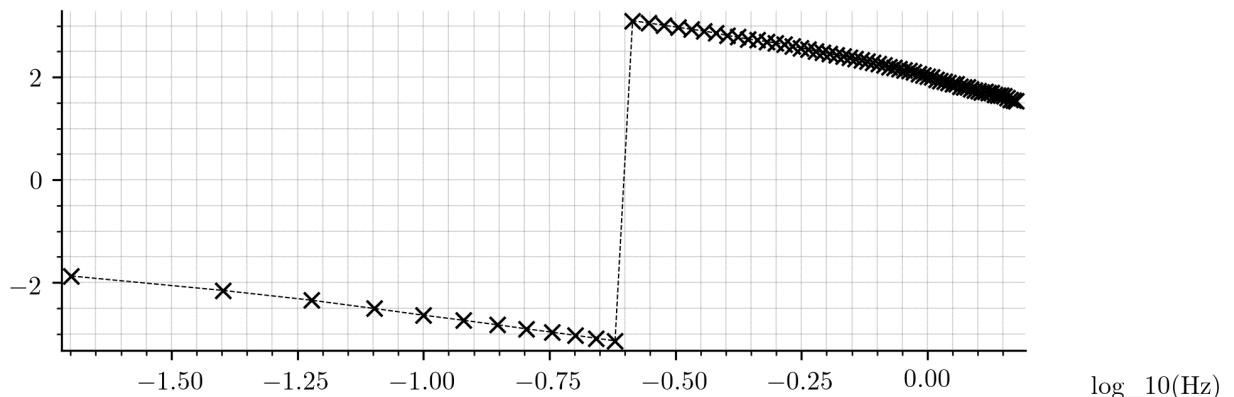
Skript rozdeľuje signál na segmenty podľa jednotlivých frekvencií a pomocou korelácie s referenčnými sínusovými a kosínusovými signálmami odhaduje amplitúdu a fázový posun pre vstup aj výstup. Výsledkom sú vektory amplitúdového zosilnenia a fázového posunu ako funkcie frekvencie.

Zisk Amplitúdová frekvenčná charakteristika



Obr. 10: Amplitúdová charakteristika systému (závislosť zisku od frekvencie).

Fáza [rad] Fázová frekvenčná charakteristika



Obr. 11: Fázová charakteristika systému (závislosť fázového posunu od frekvencie).

Na základe tejto frekvenčnej charakteristiky je možné podniknúť konkrétné kroky na potlačenie rezonancií, zníženie fázového posunu a zlepšenie správania systému vo frekvenčnej oblasti.