

jún 2025

github.com/OkoliePracovnehoBodu/KUT
MT

VO-95
KUT₀₁₉

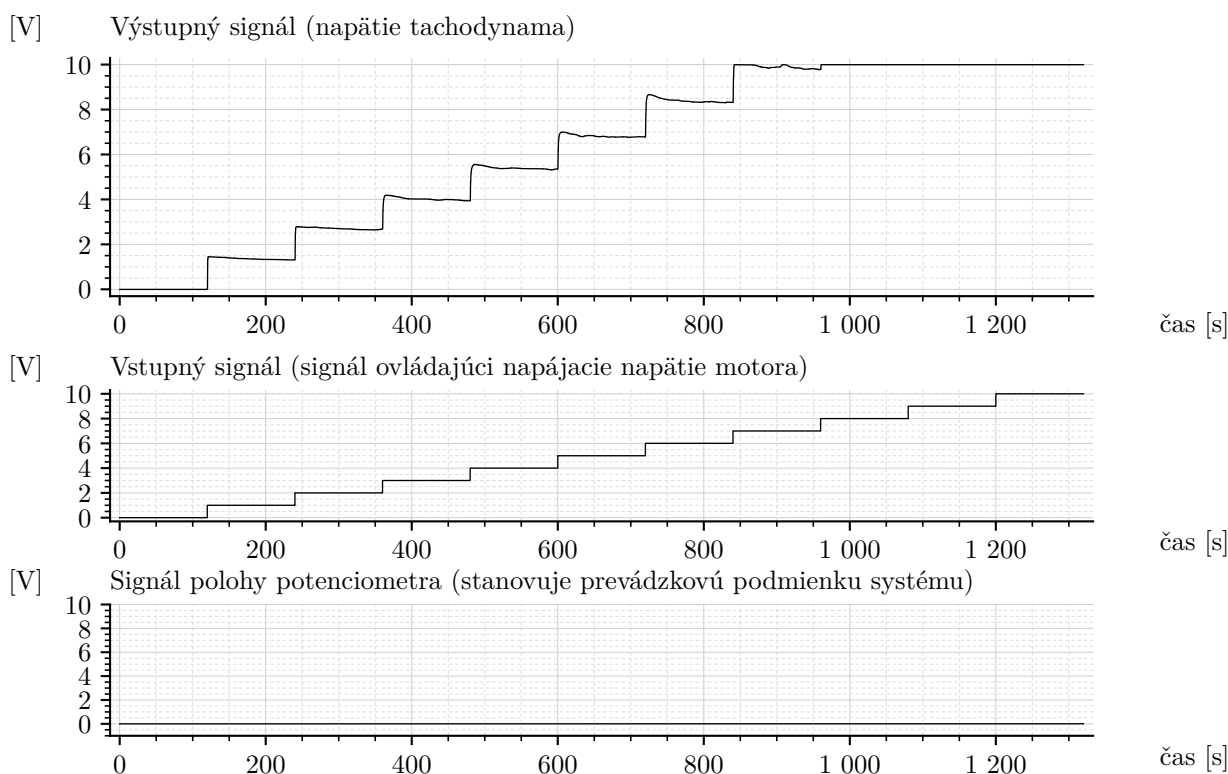
LMOT: Príklad spracovania datasetu pre prevodovú charakteristiku

CIELOM textu je uvedenie príkladu spracovania dát, z ktorých je možné získať prevodovú charakteristiku daného dynamického systému. Tento text priamo nadväzuje na KUT₀₁₈, kde je prezentovaný práve súbor takýchto dát.

1 Získané dáta

Príklad získaných dát z datasetu opísaného v dokumente KUT₀₁₈ je znázornený na nasledujúcom obrázku 1.

Dátový súbor obsahuje informácie o ustálených stavoch systému vo zvolených ustálených hodnotách vstupu a prevádzkovej podmienky (manuálneho vstupu) ako je uvedené v tabuľke 1 a v tabuľke 2. Dáta na obrázku 1 teda poskytujú informácie o ustálených stavoch systému pri prevádzkovej podmienke 0 [V] a pre rozsah vstupného signálu od 0 [V] do 10 [V]. Všetky získané dáta pre ostatné prevádzkové podmienky sú uvedené takýmto spôsobom vizualizované v texte KUT₀₁₈.



Obr. 1: Získané dáta pre vstupný signál a výstupný signál systému LMOT pri manuálne nastavenej prevádzkovej podmienke 0 [V].

Tabuľka 1: Ustálené hodnoty vstupného signálu [V]

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Tabuľka 2: Ustálené hodnoty signálu o prevádzkových podmienkach [V]

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

2 Spracovanie dát pre prevádzkovú podmienku 0 [V]

2.1 Vyznačenie ustálených úsekov

Zo získaných dát na obrázku 1 je potrebné vyňať úseky, počas ktorých sú výstupný a vstupný signál ustálené. V tomto prípade nech za ustálený stav sa považuje posledných 30 % zvoleného časového intervalu pre ustálenie, teda posledných 36 sekúnd z celkových 120 sekúnd. Takto vyňaté úseky sú znázornené na obrázku 2.

2.2 Nameraná prevodová charakteristika

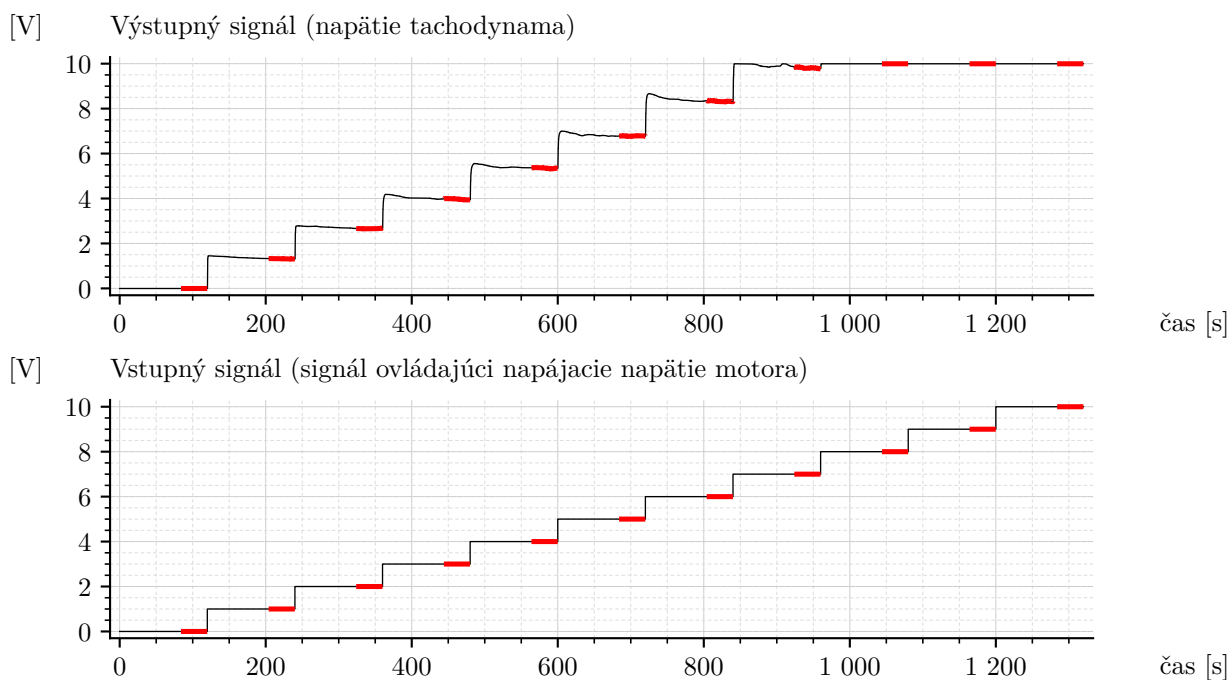
Vyňaté úseky je možné zlúčiť do jedného dátového súboru. Obsahuje len hodnoty vstupného signálu a výstupného signálu, pre ktoré je možné konštatovať, že zodpovedajú ustálenému stavu. Takéto dáta charakterizujú systém v ustálených stavoch.

Grafické znázornenie uvedených dát tak, že na x-ovej osi sú hodnoty vstupného signálu v ustálenom stave a na y-ovej osi sú prislúchajúce hodnoty výstupného signálu v ustálenom stave, je vlastne grafickým vyjadrením nameranej prevodovej charakteristiky. Nameraná prevodová charakteristika je znázornená na obrázku 3.

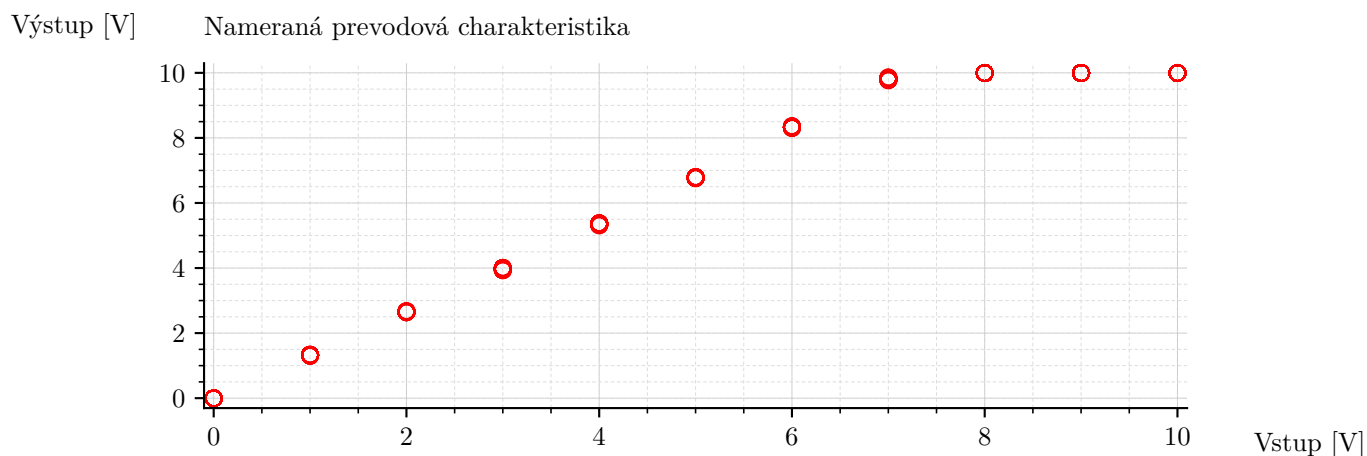
Pre lepšiu ilustráciu, že uvedený dataset neobsahuje takpovediac len niekoľko bodov, ale že každý ustálený stav je reprezentovaný viacerými hodnotami, je na obrázku 4 zobrazený detail pre zvolenú hodnotu vstupného signálu.

2.3 Aproximácia prevodovej charakteristiky

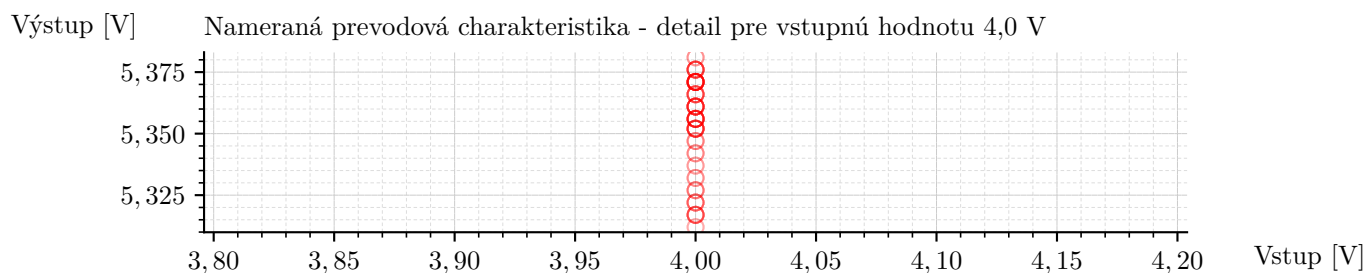
Nameraná prevodová charakteristika znázornená na obrázku 3 zachytáva vzťah medzi vstupným a výstupným signálom v konkrétnych ustálených stavoch. Pre pokrytie



Obr. 2



Obr. 3: Nameraná prevodová charakteristika pre prevádzkovú podmienku 0 [V].



Obr. 4

celého rozsahu vstupného a výstupného signálu je účelné identifikovať model, ktorý by aproximoval nameranú prevodovú charakteristiku.

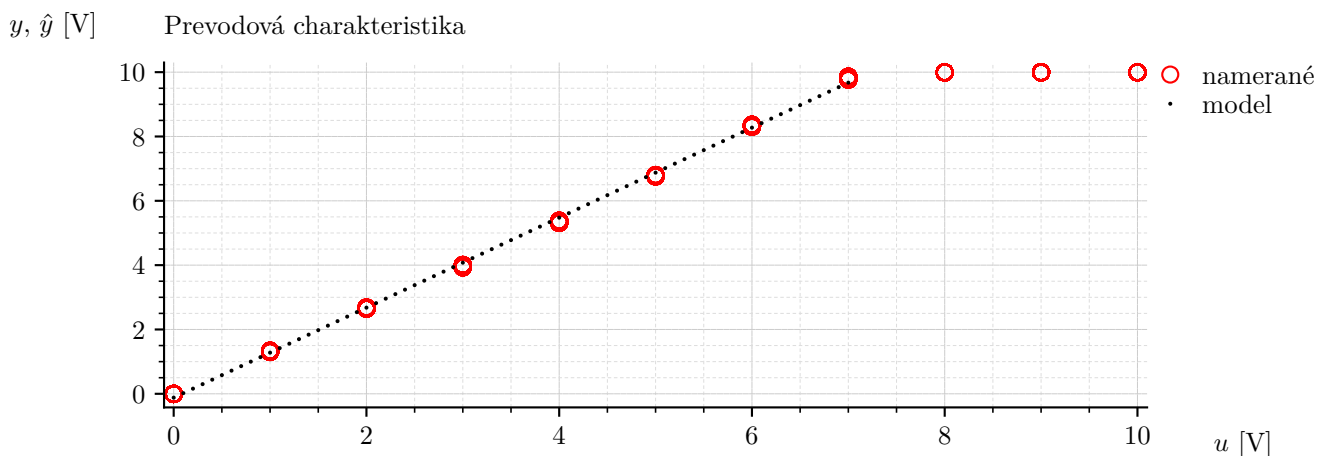
Grafické znázornenie nameranej prevodovej charakteristiky na obrázku 3 ukazuje, že od hodnoty vstupného signálu 7 [V] a viac je výstupná hodnota saturovaná na maxime (v podstate 10 [V]).

Vstupnú veličinu označme ako u a výstupnú veličinu ako y . Závislosť výstupnej veličiny od vstupnej veličiny potom je

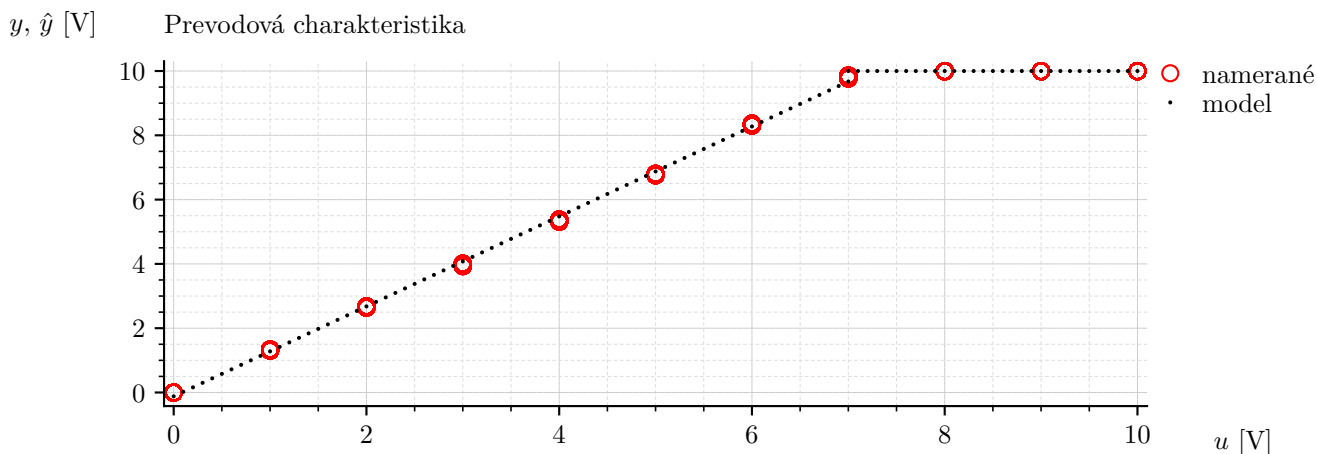
$$y = f(u) \quad (1)$$

kde f je funkcia, ktorá vyjadruje prevodovú charakteristiku systému.

Pre stanovenie modelu rozdelíme prevodovú charakteristiku na dve časti. Hľadáme funkciu f_1 , ktorá bude aproximovať prevodovú charakteristiku pre hodnoty vstupného signálu u v rozsahu $0 \leq u \leq 7$ [V] a funkciu f_2 , ktorá bude aproximovať prevodovú charakteristiku pre hodnoty vstupného signálu u v rozsahu $7 < u \leq 10$ [V].



Obr. 5



Obr. 6

Funkcia f_2 je v tomto prípade konštantná, pretože výstupný signál je saturovaný na hodnote 10 [V]. Výstup modelu \hat{y} na príslušnom rozsahu teda je

$$\hat{y} = f_2(u) = 10 \quad \text{pre } 7 < u \leq 10 \quad (2)$$

Na úseku $0 \leq u \leq 7$ [V], na základe grafického zobrazenia nameranej prevodovej charakteristiky, je možné usúdiť, že hľadaná závislosť je blízka priamke. Preto nech funkcia f_1 je daná polynómom prvého stupňa, teda

$$f_1(u) = \Theta_1 u + \Theta_0 \quad (3)$$

kde Θ_1 a Θ_0 sú parametre, ktoré je potrebné určiť.

Parametre je možné určiť metódou najmenších štvorcov, čo v tomto prípade znamená minimalizovať sumu štvorcov odchýlok medzi nameranými hodnotami výstupného signálu a hodnotami vypočítanými z modelu. Formálne je odchýlka $e = y - \hat{y}$. Takúto polynomiálnu aproximáciu bežne implementujú knižnice pre numerické výpočty. V tomto prípade využijeme knižnicu NumPy a jej funkciu `polyfit`. Výsledkom je

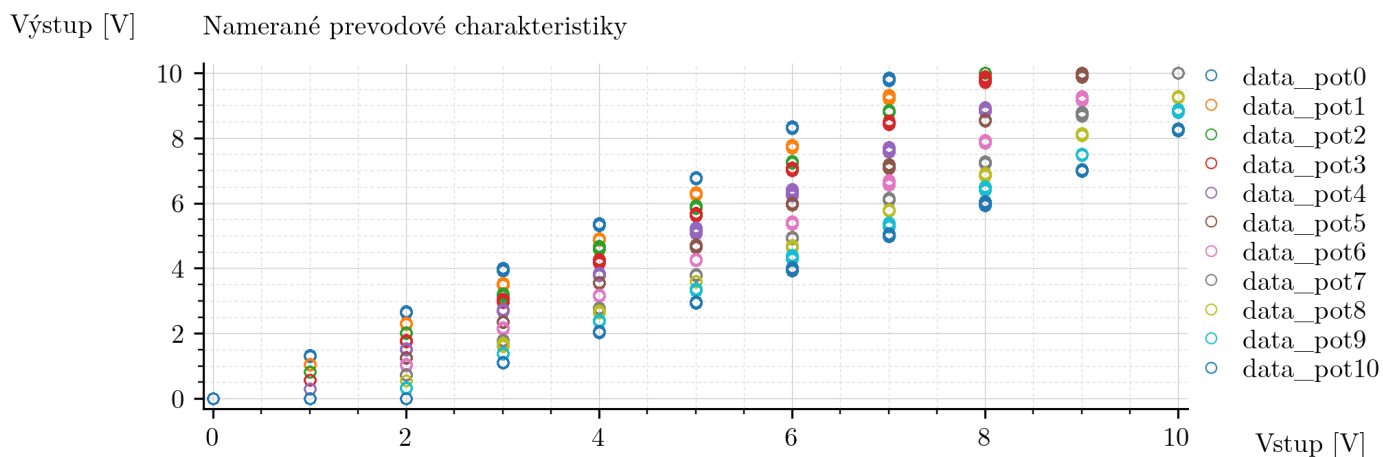
$$f_1(u) = 1,399 u - 0,1196 \quad (4)$$

a táto funkcia je znázornená na obrázku 5.

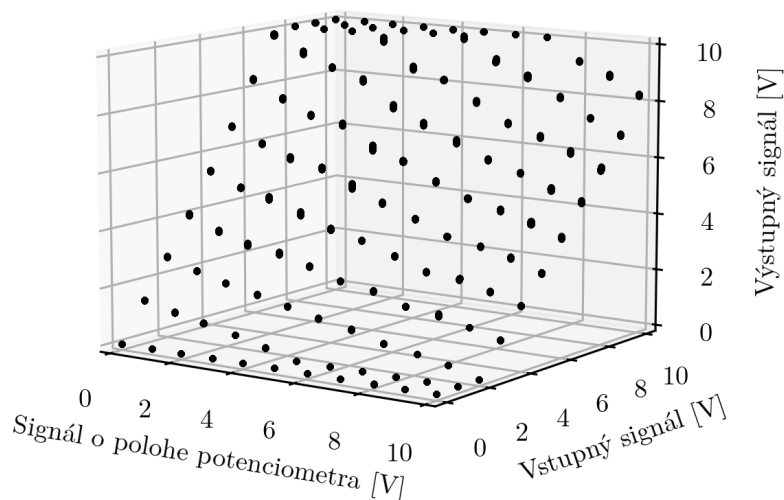
Ak by sme chceli model vyjadriť ako celok, formálne je možné písať

$$\hat{y} = \begin{cases} f_1(u) = 1,399 u - 0,1196 & \text{pre } 0 \leq u \leq 7 \\ f_2(u) = 10 & \text{pre } 7 < u \leq 10 \end{cases} \quad (5)$$

Graficky je výstup modelu znázornený na obrázku 6.



Obr. 7



Obr. 8

3 Spracovanie dát pre všetky prevádzkové podmienky

Obdobne ako na obr. 3 je možné vizualizovať všetky namerané prevodové charakteristiky pre všetky prevádzkové podmienky, pozri obrázok 7.

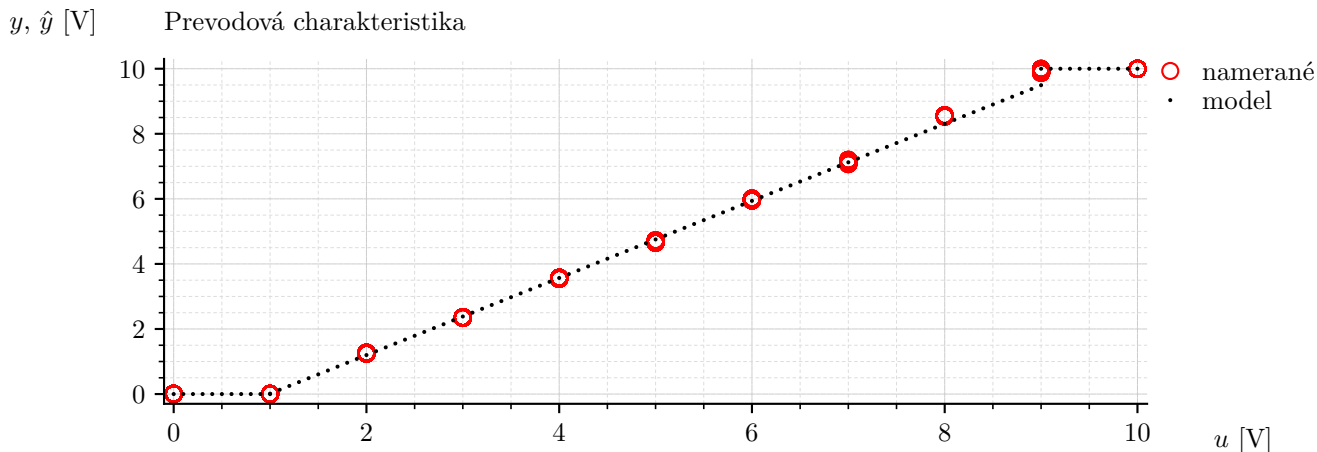
Na tieto dáta, a teda na skúmaný systém ako celok, sa dá nazerať ako na dáta zodpovedajúce systému s dvomi vstupmi a jedným výstupom. Prvým vstupom je dosiaľ uvádzaný vstupný signál, druhým vstupom je signál o prevádzkovej podmienke. Dáta reprezentujúce ustálené stavy je potom možné vizualizovať ako funkciu dvoch premenných, pozri obrázok 8.

3.1 Aproximácia prevodovej charakteristiky pre každú prevádzkovú podmienku zvlášť

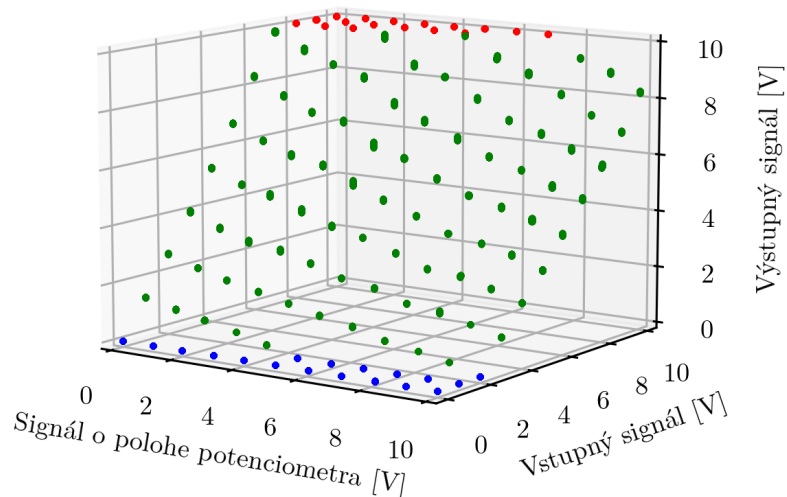
V princípe je možné zrealizovať aproximáciu prevodovej charakteristiky podľa postupu uvedeného v časti 2.3 pre každú prevádzkovú podmienku zvlášť.

Zovšeobecňujúci príklad pri prevádzkovej podmienke 5 [V]

Vo všeobecnosti je však potrebné zvážiť aj saturáciu výstupného signálu, ktorá sa prejavuje pri nízkych hodnotách vstupného signálu. Napríklad pre prevádzkovú podmienku 5 [V] je nameraná prevodová charakteristika znázornená na obrázku 9.



Obr. 9: Nameraná prevodová charakteristika pre prevádzkovú podmienku 5 [V].



Obr. 10: Červenou farbou sú znázornené tie hodnoty v ustálonom stave, pre ktoré platí, že výstupný signál má hodnotu vyššiu ako 9,9 [V]. Modrou farbou tie, pre ktoré platí, že výstupný signál má hodnotu nižšiu ako 0,1 [V]. Zelenou farbou ostatné.

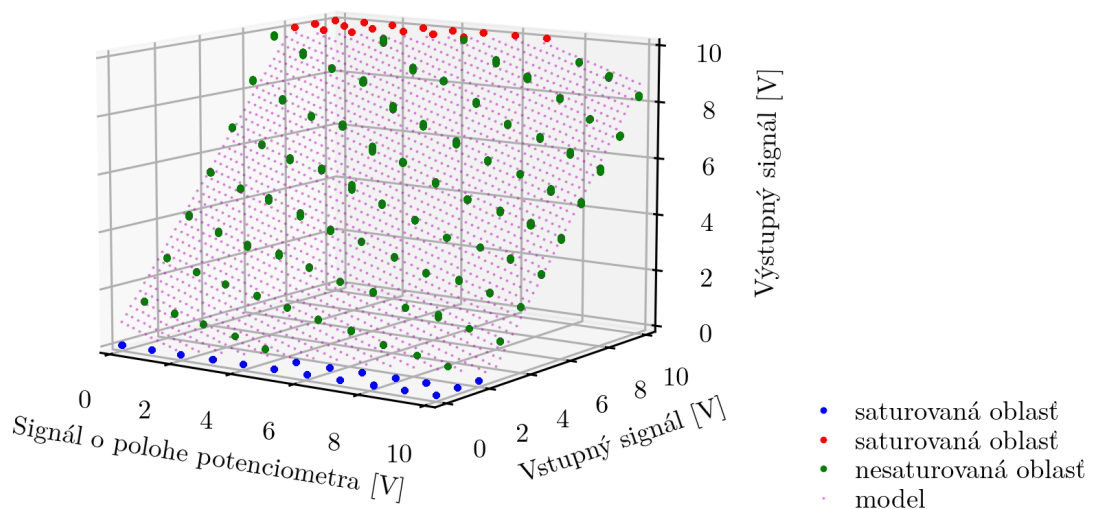
Nech hraničné hodnoty dolnej a hornej saturácie sú 1 [V] a 9 [V]. Potom model aproximujúci nameranú prevodovú charakteristiku pre je možné vyjadriť v tvare

$$\hat{y} = \begin{cases} f_1(u) = \Theta_1 u - \Theta_0 & \text{pre } 1 \leq u \leq 9 \\ f_2(u) = 10 & \text{pre } u > 9 \\ f_3(u) = 0 & \text{pre } u < 1 \end{cases} \quad (6)$$

pričom v tomto prípade sú parametre $\Theta_1 = 1,185$ a $\Theta_0 = -1,172$.

3.2 Aproximácia s využitím viacfaktorového modelu

Viac faktorovým modelom rozumieme taký, ktorý má viac ako jeden vstup. V tomto prípade môžeme signál o polohe potenciometra využiť ako ďalší vstup do modelu.



Obr. 11

Na obrázku 10 sú hodnoty v ustálenom stave znázornené ako funkcia dvoch premenných. Funkčnou hodnotou je výstupný signál a argumentmi sú vstupný signál a prevádzková podmienka. Farebne sú odlišené prípady, keď výstupný signál je satureovaný a keď nie je. Ak si odmyslíme satureované oblasti, potom môžeme usúdiť, že hodnoty v ustálenom stave tvoria rovinu v trojrozmernom priestore.

Modelom nesatureovanej oblasti nech je funkčná závislosť v tvare

$$\hat{y} = f_4(u_1, u_2) = \Theta_{11} u_1 + \Theta_{12} u_2 + \Theta_0 \quad (7)$$

kde u_1 je vstupný signál, u_2 je prevádzková podmienka a Θ_{11} , Θ_{12} a Θ_0 sú parametre, ktoré je potrebné určiť.

Pre tento prípad boli v zmysle metódy najmenších štvorcov nájdené hodnoty parametrov $\Theta_{11} = 1,167$, $\Theta_{12} = -0,37876$ a $\Theta_0 = 0,81$. Grafické porovnanie takéhoto modelu s nameranými hodnotami v nesatureovanej oblasti je znázornené na obrázku 11.

4 Záverečné poznámky

Skript pre výpočty a obrázky, ktoré sú uvedené v texte vyššie, je v súbore `job_computations.ipynb` v podadresári PY. Adresárová štruktúra všetkých dátových súborov, obrázkov a skriptov prislúchajúcich k tomuto textu je nasledovná:

```

/
├── ML
│   ├── dataRepo
│   │   └── dataSet01
│   └── PY
│       ├── dataRepo
│       ├── datajobs
│       │   └── dataJob_02.py
│       ├── fig
│       ├── figjobs
│       │   ├── figFcns_TeX.py
│       │   ├── figJob_01.py
│       │   ├── figJob_02.py
│       │   ├── figJob_03.py
│       │   ├── figJob_04.py
│       │   ├── figJob_04b.py
│       │   ├── figJob_05.py
│       │   ├── figJob_06.py
│       │   └── figJob_07.py
│       └── job_computations.ipynb

```