

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Centrum sportovních aktivit

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2025

Petr Šimčák



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**CENTRUM SPORTOVNÍCH AKTIVIT**

CENTRE OF SPORTS ACTIVITIES

**ODHAD TEPOVÉ FREKVENCE ZE SIGNÁLŮ PPG**

HEART RATE ESTIMATION FROM THE PPG SIGNALS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Petr Šimčák**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**doc. Ing. Jiří Kozumplík, CSc.**

**BRNO 2025**

## ZADÁNÍ

Namísto této stránky vložte stránku **zadání FEKT** vygenerovanou v IS VUT.



## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zaměřuje na odhad tepové frekvence ze signálů fotopletysmografie (PPG). Práce využívá dvě databáze: CapnoBase a BUT PPG. Cílem je nejen přehledně popsat metody odhadu tepové frekvence ze signálů PPG, ale také navrhnout, implementovat a otestovat algoritmy pro spolehlivou detekci systolických vrcholů a stanovení tepové frekvence. Diskutovány jsou také výhody a omezení jednotlivých metod.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

fotopletysmografie, tepová frekvence, PPG, odhad tepové frekvence, systolické vrcholy, algoritmy, CapnoBase, BUT PPG

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis focuses on heart rate estimation from photoplethysmographic (PPG) signals. The work utilizes two databases: CapnoBase and BUT PPG. The aim is not only to provide an overview of heart rate estimation methods from PPG signals but also to design, implement, and test algorithms for reliable detection of systolic peaks and heart rate determination. The advantages and limitations of each method are also discussed.

## **KEYWORDS**

photoplethysmography, heart rate, PPG, heart rate estimation, systolic peaks, algorithms, CapnoBase, BUT PPG



ŠIMČÁK, Petr. *Odhad tepové frekvence ze signálů PPG*. Bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Centrum sportovních aktivit, Ústav telekomunikací, 2025. Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Kozumplík, CSc.





# Prohlášení autora o původnosti díla

**Jméno a příjmení autora:** Petr Šimčák  
**VUT ID autora:** 226320  
**Typ práce:** Bakalářská práce  
**Akademický rok:** 2024/25  
**Téma závěrečné práce:** Odhad tepové frekvence ze signálů PPG

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno .....  
.....  
podpis autora\*

---

\*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.



## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Jiřímu Kozumplíkovi, CSc. za trpělivost, hodnotné rady, laskavý přístup, konzultace, podklady k práci a odborné vedení.



# Obsah

Úvod	21
1 Srdeční tep	23
2 Fotopletysmografie	25
3 Databáze	27
4 Referenční algoritmy	29
5 Vlastní algoritmy	31
6 Výsledky studentské práce	33
6.1 Programové řešení . . . . .	33
6.2 Výsledky měření . . . . .	33
6.2.1 Etiam quis quam . . . . .	33
Závěr	37
Literatura	39
Seznam symbolů a zkratek	41
Seznam příloh	43
A Některé příkazy balíčku <b>thesis</b>	45
A.1 Příkazy pro sazbu veličin a jednotek . . . . .	45
A.2 Příkazy pro sazbu symbolů . . . . .	45
B Druhá příloha	47
C Příklad sazby zdrojových kódů	49
C.1 Balíček <code>listings</code> . . . . .	49
D Obsah elektronické přílohy	53



# Seznam obrázků

B.1 Alenčino zrcadlo . . . . .	47
--------------------------------	----





# Seznam tabulek

A.1 Přehled příkazů . . . . .	45
-------------------------------	----



# Seznam výpisů

C.1	Ukázka sazby zkratk . . . . .	49
C.2	Příklad Schur-Cohnova testu stability v prostředí Matlab. . . . .	50
C.3	Příklad implementace první kanonické formy v jazyce C. . . . .	51



# Úvod

Tepová frekvence je jedním z klíčových zdravotních parametrů, který poskytuje důležité informace o stavu kardiovaskulárního systému subjektu. Měření a monitorování srdeční tepové frekvence se stalo nepostradatelným nástrojem nejen v medicíně, ale také ve sportovní vědě a kondičním tréninku. Tradiční metody měření tepové frekvence, jako je EKG (Elektrokardiogram), jsou přesné, ale jejich nevýhodami jsou vyšší cena a uživatelská nepřívětivost v používání EKG systémů. V posledních letech získává na popularitě PPG (Fotopletysmografie). To neinvazivní a relativně levná metoda, která umožňuje monitorovat tepovou frekvenci pomocí optických senzorů.

Fotopletysmografie funguje na principu detekce změn objemu krve v tkáni pomocí světla, které je absorbováno nebo reflektováno. Výhodou PPG je možnost integrace do nositelných zařízení, jako jsou chytré hodinky nebo fitness náramky, což umožňuje nepřetržité monitorování tepové frekvence v reálném čase bez zásahu do běžného života měřeného.

Cílem této bakalářské práce je analyzovat metody odhadu tepové frekvence z PPG signálů a navrhnout vlastní algoritmus, který umožní spolehlivé stanovení tepové frekvence. K otestování algoritmů budou využity databáze PPG signálů: CapnoBase a BUT PPG (Brno University of Technology Smartphone PPG Database).



# 1 Srdeční tep

Srdeční tep, též pulz, je základní mechanický projev činnosti srdce. Tep je označení pro tlakovou vlnu šířící se ze srdce do celého těla. Tep je možné cítit v tepnách, nacházejících se blízko povrchu těla [2].





## **2 Fotopletysmografie**



## **3 Databáze**



## 4 Referenční algoritmy



## **5 Vlastní algoritmy**





## 6 Výsledky studentské práce

Praktická část a výsledky studentské práce vhodně rozdělené do částí.

### 6.1 Programové řešení

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Nulla pulvinar eleifend sem. Integer in sapien. Etiam sapien elit, consequat eget, tristique non, venenatis quis, ante. In laoreet, magna id viverra tincidunt, sem odio bibendum justo, vel imperdiet sapien wisi sed libero. Phasellus enim erat, vestibulum vel, aliquam a, posuere eu, velit. Aliquam erat volutpat. Nullam faucibus mi quis velit [?].

### 6.2 Výsledky měření

Fusce tellus odio, dapibus id fermentum quis, suscipit id erat. Fusce tellus. Morbi scelerisque luctus velit. In laoreet, magna id viverra tincidunt, sem odio bibendum justo, vel imperdiet sapien wisi sed libero. Quisque porta. Fusce suscipit libero eget elit. Nulla non lectus sed nisl molestie malesuada. Phasellus faucibus molestie nisl. Integer vulputate sem a nibh rutrum consequat. Proin mattis lacinia justo. Phasellus et lorem id felis nonummy placerat. Etiam ligula pede, sagittis quis, interdum ultricies, scelerisque eu. Cras elementum. Aenean placerat. Donec ipsum massa, ullamcorper in, auctor et, scelerisque sed, est. Aliquam ante. Integer imperdiet lectus quis justo. Vivamus ac leo pretium faucibus. Nullam faucibus mi quis velit.

#### 6.2.1 Etiam quis quam

Neque porro quisquam est, qui dolorem ipsum quia dolor sit amet, consectetur, adipisci velit, sed quia non numquam eius modi tempora incidunt ut labore et dolore magnam aliquam quaerat voluptatem. Aliquam erat volutpat. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit [?, ?]. Nunc auctor. Neque porro quisquam est, qui dolorem ipsum quia dolor sit amet, consectetur, adipisci velit, sed quia non numquam eius modi tempora incidunt ut labore et dolore magnam aliquam quaerat voluptatem. Maecenas lorem. Maecenas libero. In laoreet, magna id viverra tincidunt, sem odio bibendum justo, vel imperdiet sapien wisi sed libero. Nullam rhoncus aliquam metus.

#### Integer rutrum orci vestibulum

Integer rutrum, orci vestibulum ullamcorper ultricies, lacus quam ultricies odio, vitae placerat pede sem sit amet enim. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud

exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Fusce tellus odio, dapibus id fermentum quis, suscipit id erat. Nullam eget nisl. Nunc auctor. Etiam dui sem, fermentum vitae, sagittis id, malesuada in, quam. Fusce dui leo, imperdiet in, aliquam sit amet, feugiat eu, orci. Curabitur vitae diam non enim vestibulum interdum. Aliquam erat volutpat. Pellentesque sapien. Phasellus enim erat, vestibulum vel, aliquam a, posuere eu, velit.

## **Eger rutrum orci vestibulum**

Fusce dui leo, imperdiet in, aliquam sit amet, feugiat eu, orci. Maecenas aliquet accumsan leo. Aliquam ornare wisi eu metus. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam erat volutpat. Donec iaculis gravida nulla. Sed elit dui, pellentesque a, faucibus vel, interdum nec, diam. Temporibus autem quibusdam et aut officiis debitis aut rerum necessitatibus saepe eveniet ut et voluptates repudiandae sint et molestiae non recusandae. Nulla non arcu lacinia neque faucibus fringilla. Phasellus enim erat, vestibulum vel, aliquam a, posuere eu, velit. Praesent vitae arcu tempor neque lacinia pretium [?, 7, 8].

Aliquam erat volutpat. Quisque porta. Integer imperdiet lectus quis justo. Nullam justo enim, consectetur nec, ullamcorper ac, vestibulum in, elit. Nullam faucibus mi quis velit. Fusce tellus. Fusce consectetur risus a nunc. Cras pede libero, dapibus nec, pretium sit amet, tempor quis. Morbi imperdiet, mauris ac auctor dictum, nisl ligula egestas nulla, et sollicitudin sem purus in lacus [3, 4, 5]. Mauris elementum mauris vitae tortor. Neque porro quisquam est, qui dolore ipsum quia dolor sit amet, consectetur, adipisci velit, sed quia non numquam eius modi tempora incidunt ut labore et dolore magnam aliquam quaerat voluptatem. Quisque porta. Integer vulputate sem a nibh rutrum consequat. Nulla pulvinar eleifend sem. Praesent id justo in neque elementum ultrices [6].

Fusce suscipit libero eget elit. Integer vulputate sem a nibh rutrum consequat. Aliquam erat volutpat. Etiam neque. Nulla turpis magna, cursus sit amet, suscipit a, interdum id, felis. Nullam rhoncus aliquam metus. Etiam dui sem, fermentum vitae, sagittis id, malesuada in, quam. Nunc auctor. Nunc dapibus tortor vel mi dapibus sollicitudin. Praesent in mauris eu tortor porttitor accumsan. Nulla non arcu lacinia neque faucibus fringilla. Nullam lectus justo, vulputate eget mollis sed, tempor sed magna. Maecenas lorem. Aenean placerat. Donec vitae arcu. Maecenas lorem. Donec iaculis gravida nulla. Nulla non lectus sed nisl molestie malesuada.

Duis pulvinar. Nulla est. Duis condimentum augue id magna semper rutrum. Integer pellentesque quam vel velit. Aliquam ante. Nulla quis diam. Proin mattis lacinia justo. Aenean fermentum risus id tortor. Nunc auctor. Nullam justo enim, consectetur nec, ullamcorper ac, vestibulum in, elit. In dapibus augue non sapien.

Etiam bibendum elit eget erat. In sem justo, commodo ut, suscipit at, pharetra vitae, orci. Maecenas libero.

Nulla non lectus sed nisl molestie malesuada. Donec vitae arcu. Aenean fermentum risus id tortor. Praesent in mauris eu tortor porttitor accumsan. Nulla pulvinar eleifend sem. Duis viverra diam non justo. Integer imperdiet lectus quis justo. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. In rutrum. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum. Nulla non lectus sed nisl molestie malesuada. Aliquam erat volutpat. Mauris tincidunt sem sed arcu. Duis bibendum, lectus ut viverra rhoncus, dolor nunc faucibus libero, eget facilisis enim ipsum id lacus. Fusce tellus odio, dapibus id fermentum quis, suscipit id erat. In enim a arcu imperdiet malesuada. Nulla non lectus sed nisl molestie malesuada. Proin mattis lacinia justo.

Aliquam in lorem sit amet leo accumsan lacinia. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Duis sapien nunc, commodo et, interdum suscipit, sollicitudin et, dolor. Suspendisse sagittis ultrices augue. Nullam lectus justo, vulputate eget mollis sed, tempor sed magna. In convallis. Praesent id justo in neque elementum ultrices. Neque porro quisquam est, qui dolorem ipsum quia dolor sit amet, consectetur, adipisci velit, sed quia non numquam eius modi tempora incidunt ut labore et dolore magnam aliquam quaerat voluptatem.

Pellentesque pretium lectus id turpis. Nemo enim ipsam voluptatem quia voluptas sit aspernatur aut odit aut fugit, sed quia consequuntur magni dolores eos qui ratione voluptatem sequi nesciunt. Curabitur ligula sapien, pulvinar a vestibulum quis, facilisis vel sapien. Praesent dapibus. Sed elit dui, pellentesque a, faucibus vel, interdum nec, diam. Duis viverra diam non justo. Duis ante orci, molestie vitae vehicula venenatis, tincidunt ac pede. Phasellus rhoncus. Maecenas fermentum, sem in pharetra pellentesque, velit turpis volutpat ante, in pharetra metus odio a lectus. Proin pede metus, vulputate nec, fermentum fringilla, vehicula vitae, justo. Fusce aliquam vestibulum ipsum. Nullam at arcu a est sollicitudin euismod.



# Závěr

Tato bakalářská práce se zaměřila na odhad tepové frekvence (TF) z fotopletysmografických (PPG) signálů. Cílem bylo jednak poskytnout stručný přehled existujících metod pro odhad TF z PPG signálů, jednak navrhnout a popsat algoritmy pro spolehlivé stanovení tepové frekvence.

V teoretické části byla popsána fotopletysmografie jako neinvazivní optická metoda monitorování změn objemu krve v tkáních, která se používá zejména pro sledování kardiovaskulárních parametrů. Byly představeny základní principy PPG signálů a faktory, které mohou ovlivnit jejich kvalitu a přesnost měření.

Praktická část práce se soustředila na implementaci a testování několika algoritmů pro detekci systolických vrcholů v PPG signálech, včetně Aboyova algoritmu, jeho vylepšené verze Aboy++, Elgendiho algoritmu, Rezonátoru s nulovou frekvencí (ZFR) a nově navrženého Upraveného Aboyova algoritmu. Algoritmy byly testovány na dvou databázích: CapnoBase a BUT PPG.

Výsledky ukázaly, že Rezonátor s nulovou frekvencí (ZFR) dosahuje nejlepších výsledků na databázi CapnoBase, přičemž vykazuje vysokou citlivost a pozitivní prediktivní hodnotu. Elgendiho algoritmus se prokázal jako nejspolehlivější na databázi BUT PPG, přičemž dosahoval nejnižší průměrné odchylky mezi detekovanou a referenční TF.

Jedním z klíčových cílů této práce byl vývoj a implementace upraveného Aboyova algoritmu. Tento algoritmus dosahuje lepších odhadů TF na databázi CapnoBase ve srovnání s původní verzí, a to zejména díky zjednodušení a odstranění některých kroků, které způsobovaly přehlížení skutečných systolických vrcholů. Na databázi BUT PPG však vykazoval vyšší odchylky TF, což naznačuje potřebu další optimalizace pro spolehlivější detekci.

Dalším krokem pro zlepšení přesnosti odhadu TF by mohlo být využití pokročilejších technik strojového učení a hlubokých neuronových sítí, které mohou nabídnout lepší adaptaci na různé typy signálů a zlepšit robustnost algoritmů vůči šumu a artefaktům.



# Literatura

- [1] VARGOVÁ, Enikő. *Stanovení kvality a odhad tepové frekvence ze signálu PPG* [online]. Brno, 2021 [cit. 2022-11-15]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/134388>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav biomedicínského inženýrství. Vedoucí práce Andrea Němcová.
- [2] MOUREK, Jindřich. *Fyziologie: učebnice pro studenty zdravotnických oborů*. 2. dopl. vydání Praha: Grada. Sestra (Grada), 2012. ISBN 978-80-247-3918-2
- [3] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. ČSN ISO 690:2022 (01 0197), *Informace a dokumentace – Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. Čtvrté vydání. Praha, 2022.
- [4] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. ČSN ISO 7144 (010161), *Dokumentace – Formální úprava disertací a podobných dokumentů*. Praha, 1997.
- [5] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. ČSN ISO 31-11, *Veličiny a jednotky – část 11: Matematické znaky a značky používané ve fyzikálních vědách a v technice*. Praha, 1999.
- [6] FARKAŠOVÁ, B.; GARAMSZEGI T.; JANSOVÁ L.; KONEČNÝ L.; KRČÁL M. et al. *Výklad normy ČSN ISO 690:2022 (01 0197) účinné od 1. 12. 2022*. Online. První vydání. 2023. Dostupné z: <https://www.citace.com/Vyklad-CSN-ISO-690-2022.pdf>. [cit. 2023-09-27].
- [7] SVAČINA, J. Dispersion Characteristics of Multilayered Slotlines – a Simple Approach. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. 1999, vol. 47, no. 9, s. 1826–1829. ISSN 0018-9480.
- [8] RAJMIC, P. a SYSEL, P. Wavelet Spectrum Thresholding Rules. In: *Proceedings of the International Conference Research in Telecommunication Technology*. Žilina: Žilina University, 2002. s. 60–63. ISBN 80-7100-991-1.





# Seznam symbolů a zkratek

Šířka levého sloupce Seznamu symbolů a zkratek překročena je určena šířkou parametru prostředí `acronym` (viz řádek 1 výpisu zdrojáku na str. 49)

<b>KolikMista</b>	pouze ukázka vyhrazeného místa
<b>DSP</b>	číslicové zpracování signálů – Digital Signal Processing
$f_{vz}$	vzorkovací kmitočet
<b>VUT</b>	Vysoké učení technické v Brně
<b>CESA</b>	Centrum sportovních aktivit
<b>BUT PPG</b>	Brno University of Technology Smartphone PPG Database
<b>PPG</b>	Fotopletysmografie
<b>EKG</b>	Elektrokardiogram
<b>TF</b>	Tepová frekvence
<b>MTF</b>	Maximální tepová frekvence
<b>LED</b>	Elektroluminiscenční dioda
<b>AC</b>	Střídavý proud, pulzující složka
<b>DC</b>	Steady-state proud, nepulzující složka
<b>FIR</b>	Filtr s konečnou impulzní charakteristikou
<b>IIR</b>	Filtr s nekonečnou impulzní charakteristikou
<b>FFT</b>	Rychlá Fourierova transformace
<b>TN</b>	Pravdivě negativní
<b>TP</b>	Pravdivě pozitivní
<b>FN</b>	Falešně negativní
<b>FP</b>	Falešně pozitivní
<b>PPV</b>	Pozitivní prediktivní hodnota
<b>Se</b>	Senzitivita

**ms**      Milisekunda

**px**      Pixel

# Seznam příloh

<b>A</b>	<b>Některé příkazy balíčku <code>thesis</code></b>	<b>45</b>
A.1	Příkazy pro sazbu veličin a jednotek . . . . .	45
A.2	Příkazy pro sazbu symbolů . . . . .	45
<b>B</b>	<b>Druhá příloha</b>	<b>47</b>
<b>C</b>	<b>Příklad sazby zdrojových kódů</b>	<b>49</b>
C.1	Balíček <code>listings</code> . . . . .	49
<b>D</b>	<b>Obsah elektronické přílohy</b>	<b>53</b>



# A Některé příkazy balíčku thesis

## A.1 Příkazy pro sazbu veličin a jednotek

Tab. A.1: Přehled příkazů pro matematické prostředí

Příkaz	Příklad	Zdroj příkladu	Význam
<code>\textind{...}</code>	$\beta_{\max}$	<code>\$\beta_{\textind{max}}\$</code>	textový index
<code>\const{...}</code>	$U_{\text{in}}$	<code>\$\const{U}_{\textind{in}}\$</code>	konstantní veličina
<code>\var{...}</code>	$u_{\text{in}}$	<code>\$\var{u}_{\textind{in}}\$</code>	proměnná veličina
<code>\complex{...}</code>	$\mathbf{u}_{\text{in}}$	<code>\$\complex{u}_{\textind{in}}\$</code>	komplexní veličina
<code>\vect{...}</code>	$\mathbf{y}$	<code>\$\vect{y}\$</code>	vektor
<code>\mat{...}</code>	$\mathbf{Z}$	<code>\$\mat{Z}\$</code>	matice
<code>\unit{...}</code>	kV	<code>\$\unit{kV}\$</code> či <code>\unit{kV}</code>	jednotka

## A.2 Příkazy pro sazbu symbolů

- `\E`, `\eul` – sazba Eulerova čísla:  $e$ ,
- `\J`, `\jmag`, `\I`, `\imag` – sazba imaginární jednotky:  $j$ ,  $i$ ,
- `\dif` – sazba diferenciálu:  $d$ ,
- `\sinc` – sazba funkce:  $\text{sinc}$ ,
- `\mikro` – sazba symbolu mikro stojatým písmem<sup>1</sup>:  $\mu$ ,
- `\uppi` – sazba symbolu  $\pi$  (stojaté řecké pí, na rozdíl od `\pi`, což sází  $\pi$ ).

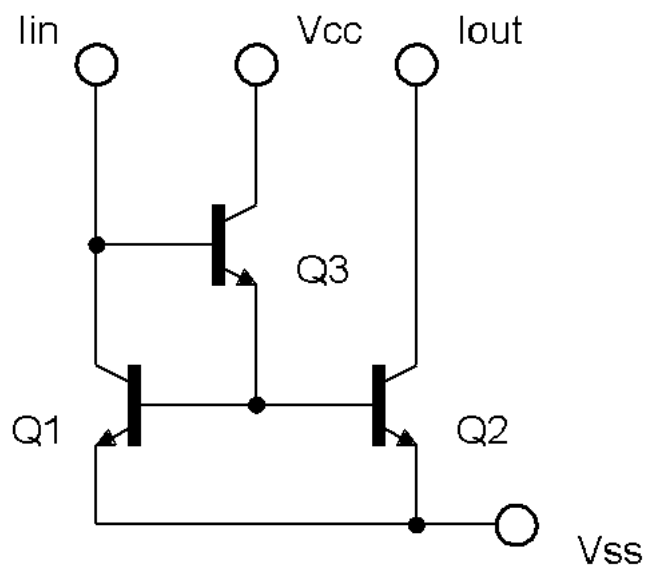
Všechny symboly jsou určeny pro matematický mód, vyjma `\mikro`, jenž je použitelný rovněž v textovém módu.

---

<sup>1</sup>znak pochází z balíčku `textcomp`



## B Druhá příloha



Obr. B.1: Zlepšené Wilsonovo proudové zrcadlo.

Pro sazbu vektorových obrázků přímo v  $\text{\LaTeX}$  je možné doporučit balíček `TikZ`. Příklady sazby je možné najít na `TikZ&TeX`. Pro vyzkoušení je možné použít programy `QTikZ` nebo `TikZEdt`.





## C Příklad sazby zdrojových kódů

### C.1 Balíček listings

Pro vysázení zdrojových souborů je možné použít balíček `listings`. Balíček zavádí nové prostředí `lstlisting` pro sazbu zdrojových kódů, jako například:

```
\section{Balíček lstlistings}
Pro vysázení zdrojových souborů je možné použít
  balíček \href{https://www.ctan.org/pkg/listings}%
  {\texttt{listings}}.
Balíček zavádí nové prostředí \texttt{lstlisting} pro
  sazbu zdrojových kódů.
```

Podporuje množství programovacích jazyků. Kód k vysázení může být načítán přímo ze zdrojových souborů. Umožňuje vkládat čísla řádků nebo vypisovat jen vybrané úseky kódu. Např.:

Zkratky jsou sázeny v prostředí `acronym`:

```
6 \begin{acronym}[KolikMista] % [KolikMista] určuje šířku sloupce pro
```

Šířka textu volitelného parametru `KolikMista` udává šířku prvního sloupce se zkratkami. Proto by měla být zadávána nejdelší zkratka nebo symbol. Příklad definice zkratky  $f_{vz}$  je na výpisu C.1.

Výpis C.1: Ukázka sazby zkratek

Ukončení seznamu je provedeno ukončením prostředí:

```
26 \acro{BUT PPG} {Brno University of Technology Smartphone PPG Dat
```

#### Poznámka k výpisům s použitím volby jazyka czech nebo slovak:

Pokud Váš zdrojový kód obsahuje znak spojovníku `-`, pak překlad může skončit chybou. Ta je způsobená tím, že znak `-` je v českém nebo slovenském nastavení balíčku `babel` tzv. aktivním znakem. Přepněte znak `-` na neaktivní příkazem `\shorthandoff{-}` těsně před výpisem a hned za ním jej vraťte na aktivní příkazem `\shorthandon{-}`. Podobně jako to je ukázáno ve zdrojovém kódu šablony.

Na výpisu C.2 naleznete příklad kódu pro Matlab, na výpisu C.3 zase pro jazyk C.

Výpis C.2: Příklad Schur-Cohnova testu stability v prostředí Matlab.

```
1 %% Příklad testování stability filtru
2
3 % koeficienty polynomu ve jmenovateli
4 a = [ 5, 11.2, 5.44, -0.384, -2.3552, -1.2288];
5 disp( 'Polynom:'); disp(poly2str( a, 'z'))
6
7 disp('Kontrola pomocí kořenů polynomu:');
8 zx = roots( a);
9 if( all( abs( zx) < 1))
10     disp('System je stabilní')
11 else
12     disp('System je nestabilní nebo na mezí stability');
13 end
14
15 disp(' '); disp('Kontrola pomocí Schur-Cohn:');
16 ma = zeros( length(a)-1,length(a));
17 ma(1,:) = a/a(1);
18 for( k = 1:length(a)-2)
19     aa = ma(k,1:end-k+1);
20     bb = fliplr( aa);
21     ma(k+1,1:end-k+1) = (aa-aa(end)*bb)/(1-aa(end)^2);
22 end
23
24 if( all( abs( diag( ma.'))))
25     disp('System je stabilní')
26 else
27     disp('System je nestabilní nebo na mezí stability');
28 end
```

Výpis C.3: Příklad implementace první kanonické formy v jazyce C.

<i>// první kanonická forma</i>	1
<u>short</u> fxdf2t( <u>short</u> coef[][5], <u>short</u> sample)	2
{	3
<u>static int</u> v1[SECTIONS] = {0,0}, v2[SECTIONS] = {0,0};	4
<u>int</u> x, y, accu;	5
<u>short</u> k;	6
	7
x = sample;	8
<u>for</u> ( k = 0; k < SECTIONS; k++){	9
accu = v1[k] >> 1;	10
y = _sadd( accu, _smpy( coef[k][0], x));	11
y = _sshl(y, 1) >> 16;	12
	13
accu = v2[k] >> 1;	14
accu = _sadd( accu, _smpy( coef[k][1], x));	15
accu = _sadd( accu, _smpy( coef[k][2], y));	16
v1[k] = _sshl( accu, 1);	17
	18
accu = _smpy( coef[k][3], x);	19
accu = _sadd( accu, _smpy( coef[k][4], y));	20
v2[k] = _sshl( accu, 1);	21
	22
x = y;	23
}	24
<u>return</u> ( y);	25
}	26



## D Obsah elektronické přílohy

Elektronická příloha je často nedílnou součástí semestrální nebo závěrečné práce. Vkládá se do informačního systému VUT v Brně ve vhodném formátu (ZIP, PDF ...).

Nezapomeňte uvést, co čtenář v této příloze najde. Je vhodné okomentovat obsah každého adresáře, specifikovat, který soubor obsahuje důležitá nastavení, který soubor je určen ke spuštění, uvést nastavení kompilátoru atd. Také je dobře napsat, v jaké verzi software byl kód testován (např. Matlab 2018b). Pokud bylo cílem práce vytvořit hardwarové zařízení, musí elektronická příloha obsahovat veškeré podklady pro výrobu (např. soubory s návrhem DPS v Eagle).

Pokud je souborů hodně a jsou organizovány ve více složkách, je možné pro výpis adresářové struktury použít balíček `dirtree`.

```
/ .....kořenový adresář přiloženého archivu
├── logo .....loga školy a fakulty
│   ├── BUT_abbreviation_color_PANTONE_EN.pdf
│   ├── BUT_color_PANTONE_EN.pdf
│   ├── FEEC_abbreviation_color_PANTONE_EN.pdf
│   ├── FEKT_zkratka_barevne_PANTONE_CZ.pdf
│   ├── UTKO_color_PANTONE_CZ.pdf
│   ├── UTKO_color_PANTONE_EN.pdf
│   ├── VUT_barevne_PANTONE_CZ.pdf
│   ├── VUT_symbol_barevne_PANTONE_CZ.pdf
│   └── VUT_zkratka_barevne_PANTONE_CZ.pdf
├── obrazky .....ostatní obrázky
│   ├── soucastky.png
│   ├── spoje.png
│   ├── ZlepseneWilsonovoZrcadloNPN.png
│   └── ZlepseneWilsonovoZrcadloPNP.png
├── pdf .....pdf stránky generované informačním systémem
│   ├── student-desky.pdf
│   ├── student-titulka.pdf
│   └── student-zadani.pdf
├── text .....zdrojové textové soubory
│   ├── literatura.tex
│   ├── prilohy.tex
│   ├── reseni.tex
│   ├── uvod.tex
│   ├── vysledky.tex
│   ├── zaver.tex
│   └── zkratky.tex
├── sablona-obhaj.tex .....hlavní soubor pro sazbu prezentace k obhajobě
├── sablona-prace.tex .....hlavní soubor pro sazbu kvalifikační práce
└── thesis.sty .....balíček pro sazbu kvalifikačních prací
```