

# **Popis řešení FW STM32G431 pro ZeroElabViewer**

Version 1.0.0

Petr David  
16. února 2024

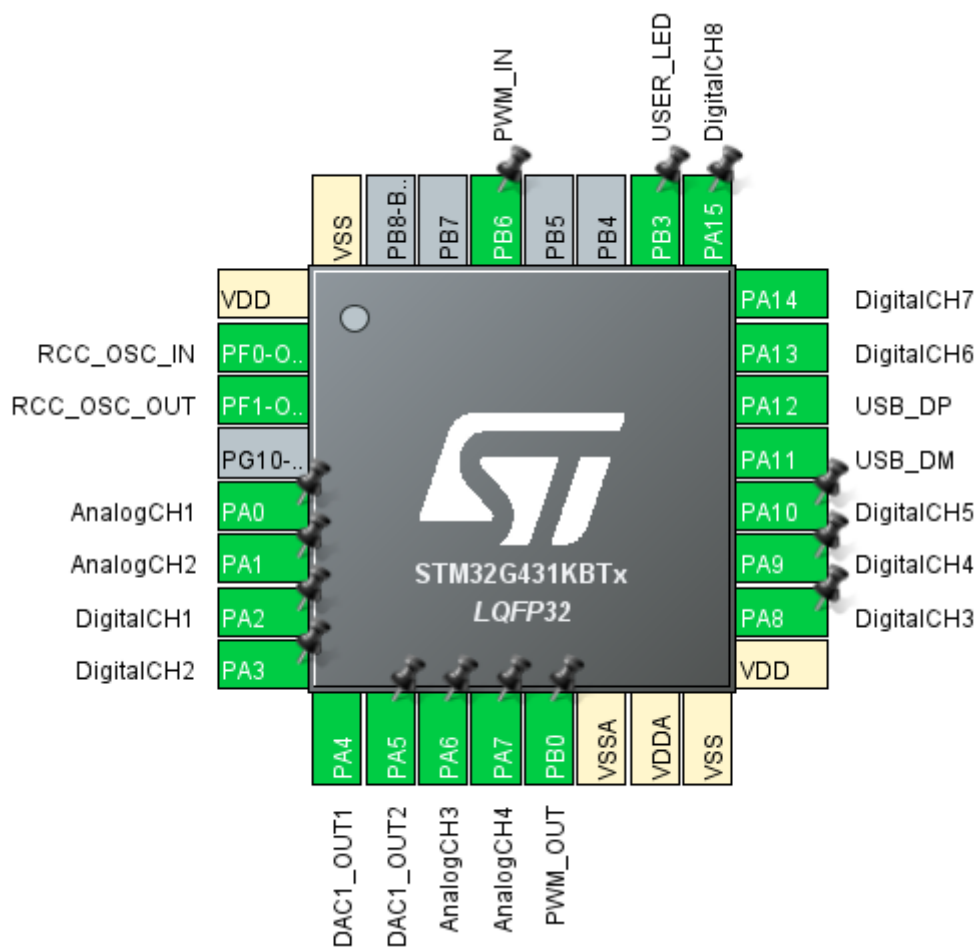
# Obsah

<b>1</b>	<b>Základní vlastnosti přístroje</b>	<b>2</b>
1.1	Pinout . . . . .	2
1.2	Startovací sekvence . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Čítač - měření frekvence</b>	<b>4</b>
2.1	Režim čítání pulzů ("Pulse counter") . . . . .	4
2.2	Režim - PWM input . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Impulsní generátor PWM</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Voltmetr</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Panel přístroje osciloskop</b>	<b>6</b>
5.1	Konfigurace osciloskop . . . . .	6
5.1.1	Doba vzorkování . . . . .	7
5.1.2	Módy osciloskopu . . . . .	7
5.2	Konfigurace osciloskopu s operačním zesilovačem . . . . .	8
5.3	Konfigurace logický analyzátor . . . . .	8
<b>6</b>	<b>Signálový generátor</b>	<b>9</b>

# 1 Základní vlastnosti přístroje

- Frekvence systémových hodin a hodin čítačů - 156 MHz
- Frekvence hodin ADC převodníků - 52 MHz
- Komunikace s PC pomocí periferie USB
- Možnost funkce pouze interním oscilátorem HSI nebo volitelně možnost připojit krystal s frekvencí 8 , 12 nebo 16 MHz

## 1.1 Pinout

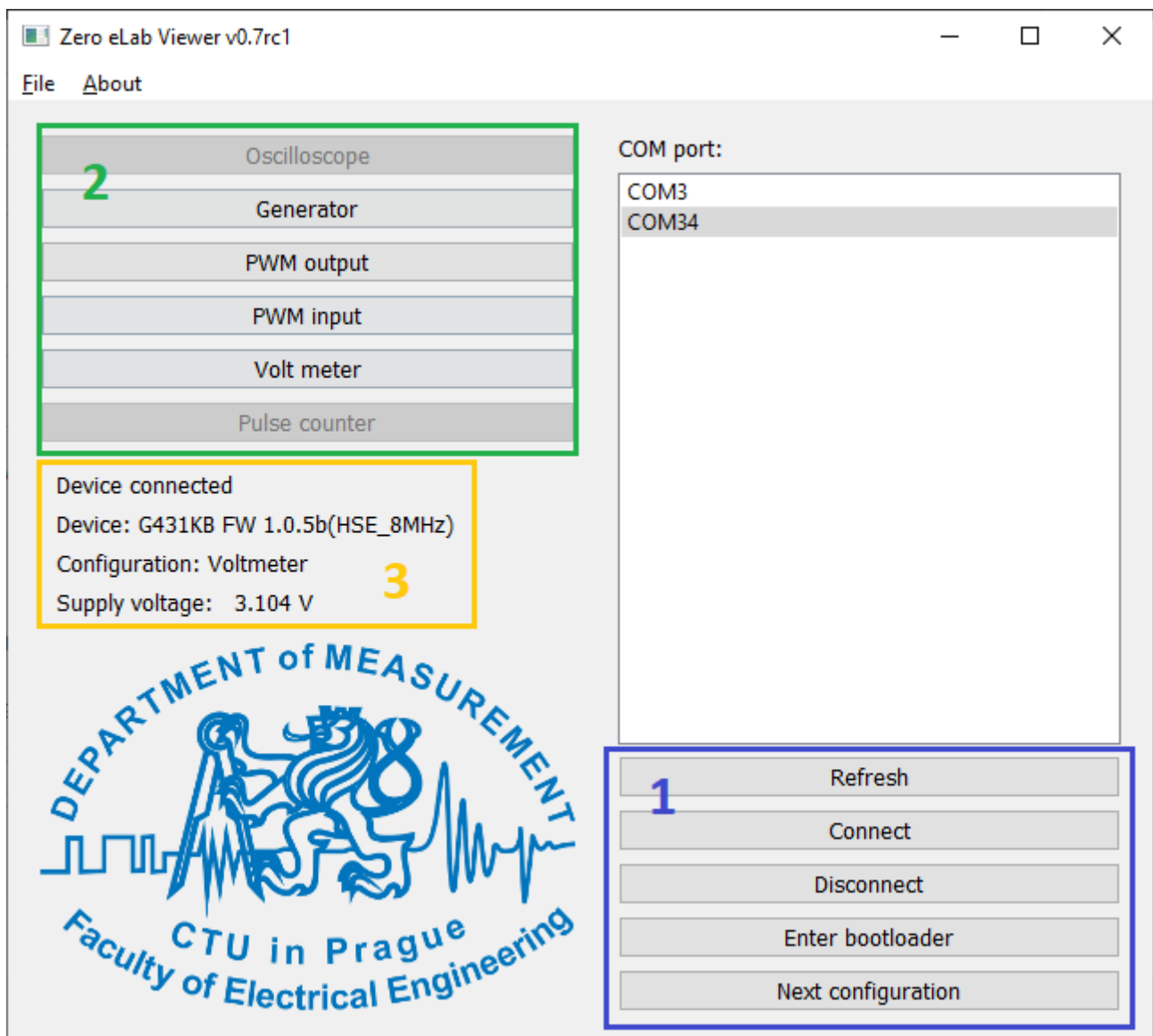


Obrázek 1: Přiřazení funkcí jednotlivým pinům

## 1.2 Startovací sekvence

Po každém restartu dojde k testování přítomnosti externího krystalu a změření jeho případné frekvence. Pokud je přítomný krystal o frekvenci 8, 12 nebo 16 MHz, tak se použije jako zdroj hodinového signálu o čem FW informuje třemi delšími (650 ms) bliknutími LED připojené na pin PB3(USER\_LED) nebo na pinu PB0(PWM\_OUT). Pokud externí krystal připojen není nebo nemá požadovanou frekvenci, použije se jako zdroj hodinového signálu vnitřní vysokorychlostní oscilátor HSI. To je signalizováno 2 kratšími(150 ms) bliknutími a jedním delším(650 ms). O přítomném externím krystalu také FW informuje na úvodním panelu aplikace Zero eLab Viewer po připojení zařízení v informační části(3) vedle čísla verze FW viz obrázek 2.

Dále v rámci startovací sekvence dojde k změření napětí vnitřní reference a odvození napájecího napětí. Hodnota napájecího napětí ("Supply voltage") je též uvedena v již zmíněné informační části.



Obrázek 2: Úvodní panel

## 2 Čítač - měření frekvence

- dostupné 2 režimy měření frekvence vstupního signálu.
- Režim čítání pulzů ("Pulse counter") vhodný pro měření frekvencí 1Hz až 52 MHz
- Režim "PWM input" umožňuje kromě stanovení frekvence měřením délky periody také měření střídy vstupního signálu.

### 2.1 Režim čítání pulzů ("Pulse counter")

Obvyklým způsobem měření frekvence je počítání period vstupního signálu za pevně daný časový úsek. Při tom obvykle vzniká chyba měření nezapočítáním poslední necelé periody. Toto omezení se FW snaží řešit upravenou metodou, kdy po uplynutí pevného časového úseku 1 sekundy ještě dále měříme čas dokud ještě neproběhne dalších 5 period vstupního signálu. Výsledkem je, že máme k dispozici údaj, jak dlouho trval daný počet celých period vstupního signálu. Metoda byla převzata z práce [1]. Kvůli dodatečnému měření 5 period navíc se metoda nehodí pro měření pomalých signálů. Rychlost vnitřních hodin čítače je 156 MHz a tedy dobu trvání daného počtu period stanovujeme v krocích přibližně 6.4 ns.

### 2.2 Režim - PWM input

Tento režim využívá reciproční metodu měření frekvence vstupního signálu a kromě měření frekvence lze zároveň využít pro určení střídy vstupního PWM signálu. Pomocí DMA zachycujeme 10 průběhů vstupního signálu, které jsou průměrovány. Řešení také adaptivně upravuje frekvenci vstupních hodin čítače pomocí nastavování před-děličky (TIMx\_PSC) signálu, aby se zvyšovalo rozlišení, se kterým je vstupní signál měřen.

## 3 Impulsní generátor PWM

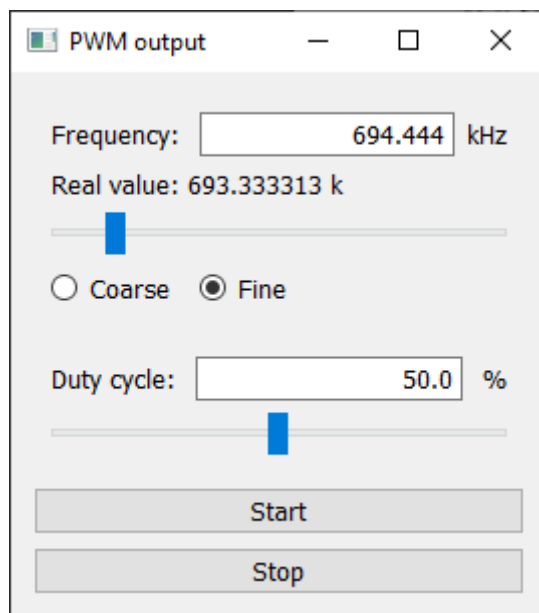
Řešení využívá 16 bitového čítače TIM1. Frekvence výstupního signálu  $f_{OUT}$  je odvozená od systémových hodin SYSCLK s frekvencí  $f_{SYSCLK} = 156$  MHz pomocí dělicího faktoru DIV určeného hodnotami ARR a PSC registeru.

$$DIV = (ARR + 1) \cdot (PSC + 1) \quad (1)$$

$$f_{OUT} = f_{SYSCLK} / DIV \quad (2)$$

FW využívá iterativního hledání ideálních hodnot ARR a PSC, aby minimalizoval rozdíl mezi požadovanou a reálnou výstupní frekvencí PWM signálu. Iterativní hledání probíhá podle algoritmu uvedeného v [1]. Dále pak aplikace ukazuje očekávanou reálnou výstupní frekvenci na ovládacím panelu pro PWM výstup viz obr.3

FW umožňuje nastavení výstupní frekvence v rozmezí 1 Hz až 78 MHz a zároveň nastavení střídy 0 až 100 % s krokem 0.1%. Při nastavování střídy je ale nutné upozornit, že přesnost nastavení střídy je limitována konkrétní hodnotou ARR registru pro danou výstupní frekvenci. Při vyšších rychlostech (nad 100 kHz) se musí očekávat snižující přesnost výstupní nastavené střídy.



Obrázek 3: Ovládací panel PWM output

## 4 Voltmetr

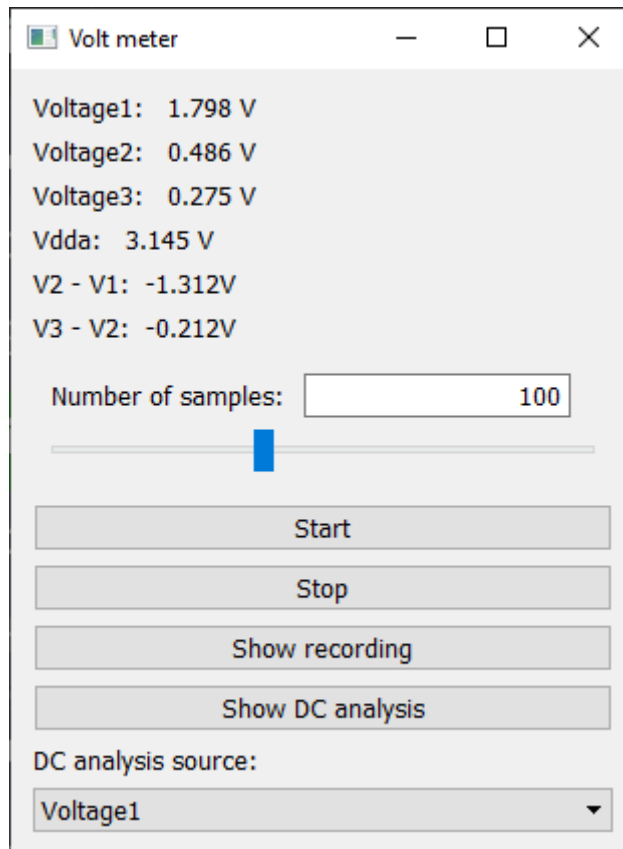
Voltmetr lze použít pro měření napětí na třech vstupních kanálech :

- AnalogCH1(PA0) - Voltage 1
- AnalogCH2(PA1) - Voltage 2
- AnalogCH3(PA6) - Voltage 3

Voltmetr zároveň s každým odměrem měří napětí na vnitřní napěťové referenci pro korigování naměřených hodnot. Voltmetr využívá obou ADC převodníků ADC1 a ADC2, které pracují synchronně. Na každé ADC připadají 2 kanály, mezi kterými převodník střídavě přepíná pomocí vnitřního multiplexoru. V první fázi ADC1 měří napětí na vnitřní referenci a ADC2 na kanálu AnalogCH3. V druhé fázi ADC1 měří napětí na AnalogCH1 a ADC2 na AnalogCH2. Odměry probíhají s frekvencí 100 Hz a je využita doba vzorkování 640,5 hodinových cyklů. Frekvence hodinového signálu ADC převodníků je zvolena 52 MHz. Tedy doba odměru 1 vzorku napětí  $t_{\text{samp}}$  je :

$$t_{\text{samp}} = \frac{1}{52 \cdot 10^6} \cdot 640. \text{ s} = 12.317 \mu\text{s} \quad (3)$$

Voltmetr umožňuje průměrování vzorků na liště "Number of samples"(viz obr.4) stačí nastavit kolik odměrů se má využít pro získání průměrů. Průměr se vypočítává na straně MCU a do aplikace je pak poslána výsledná hodnota.



Obrázek 4: Ovládací panel přístroje Voltmetr

### Shrnutí vlastností

- Rozmezí vstupních napětí 0 až + 3,3 V,
- Vzorkovací frekvence 100 odměrů/s,
- Průměrování z 1 až 256 odměrů
- Možnost funkce záznamu a měření DC charakteristiky

## 5 Panel přístroje osciloskop

Panel přístroje osciloskopu má rozdílné vlastnosti podle aktuálně zvolené konfigurace. Konfigurace se přepínají pomocí tlačítka "Next configuration" v ovládací části (1) úvodního panelu viz obr.2

### 5.1 Konfigurace osciloskop

Panel osciloskopu lze použít pro zobrazení průběhu napětí na 4 vstupních analogových kanálech :

- AnalogCH1(PA0) - Channel 1
- AnalogCH2(PA1) - Channel 2
- AnalogCH3(PA6) - Channel 3
- AnalogCH4(PA7) - Channel 4

### 5.1.1 Doba vzorkování

ADC převodníky používají maximální doporučenou frekvenci vstupních hodin při použití obou ADC převodníků, což je podle [2] 52 MHz. Doba vzorkování v počtech cyklů hodinového signálu se nastavuje maximální možná v závislosti na frekvenci vzorkování a aktuálně snímaných kanálů. Doba vzorkování je vždy pro všechny kanály stejná a aktuálně zvolená hodnota se dá odvodit ze zobrazovaného údaje maximální přípustné vstupní impedance, která se zobrazuje pod záložkou status.

RAIN [ $\Omega$ ]	100	330	680	1500	2200	4700	1200	39000
$N_{\text{samp}}$ [-]	2.5	6.5	12.5	24.5	47.5	92.5	247.5	640.5
$t_{\text{samp}}$ [ $\mu\text{s}$ ]	0,048	0,125	0,240	0,471	0,913	1,778	4,759	12,317

Tabulka 1: Doba vzorkování v závislosti na údajích o maximální vstupní impedanci

### 5.1.2 Módy osciloskopu

V závislosti na aktuálně zvolených kanálech se mění konfigurace využití 2 přítomných ADC převodníků, což v případě multiplexování má dopad na zpoždění mezi zobrazovanými kanály a také na maximální vzorkovací frekvenci, kterou můžeme kanály snímat.

#### Interleaved režim

Při samostatném snímání Channel 1 nebo Channel 2. Je využito interleaved režimu kdy se ADC1 a ADC2 střídají ve snímání stejného vstupního kanálu. Výsledkem čehož můžeme snímat daný kanál s vyšší maximální vzorkovací frekvencí a to až 6.5 MSps. Toho mohlo být dosaženo díky tomu že těchto případech mají oba ADC převodníky namapované vstupy na daných pinech.

#### Regular single ADC režim

Při samostatném snímání Channel 3 nebo Channel 4 není možnost nativního (bez HW změn) interleaved režimu a je tedy využito pouze ADC2 pro snímání zrovna zvoleného kanálu. Maximální vzorkovací frekvence v tomto případě je 3.25 MSps.

Toho režimu je také zvoleno v případě, kdy zvolíme zároveň Channel 3 a Channel 4. V tomto případě musí ale ADC2 přepínat mezi jednotlivými kanály a maximální vzorkovací frekvence ještě klesne na polovinu tedy 1.67 MSps. Dále z tohoto přepínání mezi jednotlivými vstupy plyne určité zpoždění Channel 4 za Channel 3. Velikost zpoždění je dána dobou vzorkování a konverze výsledku.

#### Dual simultaneous režim

V tomto režimu vždy vzorkujeme 2 kanály zároveň díky simultánnímu využití obou převodníků. Tento režim funguje pro všechny volitelné kombinace 2 kanálů kromě situace, kdy bychom chtěli zároveň snímat Channel 3 s Channel 4. Pro tento případ pak platí režim popsáný v **Regular single ADC režim**.



Při vzorkování 3 nebo 4 kanálů ADC převodníky také pracují simultánně, ale navíc musí přepínat své vstupy mezi jednotlivými kanály. ADC1 pak měří Channel 1 a Channel 2, zatímco ADC2 přepíná mezi Channel 3 a Channel 4. Maximální vzorkovací frekvence je v tomto případě 1.67MSps . Důsledkem přepínání mezi kanály pak je, že se kanály Channel 2 a Channel 4 zpožďují za kanály Channel 1 a Channel 3.

### **Shrnutí vlastností**

- 4 kanály, záznam až 1x8192 vzorků(nebo 2x 4096, 4x 2048), rozlišení 12 bitů
- Rychlost záznamu až 1x 6.5 MSps (nebo 2x 3.25 MSps, 4 x 1.677 MSps)
- Ve stroboskopickém módu - až 52 MSps - rozlišení s intervalem 19,2 ns.
- Nastavení vzorkovací frekvence po 1Hz (1-9999Hz), poté s proměnným intervalem až do maximální frekvence.
- Triggerování libovolného kanálu na náběžnou hranu, sestupnou hranu nebo obě zároveň s nastavitelnou úrovní napětí triggerování
- Možnost funkce pretrigger zadávaného v % počtu vzorků
- Možnost auto-trigger

Při zvolené funkci auto-trigger a zvolené nějaké hrany triggeru dojde k vypsání bufferu, pokud nedojde k triggeru za 10 načtení celé délky bufferu

Při zvolené funkci auto-trigger bez zvolené hrany triggeru dojde k okamžitému vykreslování bufferu

## **5.2 Konfigurace osciloskopu s operačním zesilovačem**

### **5.3 Konfigurace logický analyzátor**

- 8 kanálů, záznam až 8x8192 vzorků
- Rychlost záznamu až 19.5 MS/s
- Ve stroboskopickém módu - až 78 MS/s - rozlišení s intervalem 12,8 ns.
- Nastavení vzorkovací frekvence po 1Hz (1 - 9999Hz), poté s proměnným intervalem až do maximální frekvence.
- Triggerování zvoleným kanálem na náběžnou hranu, sestupnou hranu nebo obě zároveň
- Možnost funkce pretrigger zadávaného v % počtu vzorků
- Možnost auto-trigger

Na vstupních pinech logických kanálů jsou defaultně nastaveny interní pull-down rezistory pro stanovení pevné úrovně v případě nepřipojení vstupů k žádnému zdroji signálu.

Jako zdroj triggeru může být použit jeden ze vstupních signálů na kanálu CH1 až CH4

Při zvolené funkci auto-trigger a zvolené nějaké hrany triggeru dojde k vypsání bufferu, pokud nedojde k triggeru za 10 načtení celé délky bufferu

Při zvolené funkci auto-trigger bez zvolené hrany triggeru dojde k okamžitému vykreslování bufferu

## 6 Signálový generátor

- Maximální vzorkovací frekvence 1 Msps
- Rozmezí počtu vzorků na 1 periodu - 4 až 1000 vzorků
- Optimalizace délky bufferu podle nastavené frekvence signálu
- Definované tvary signálu: sinus, trojúhelník, pila, obdélník
- Nastavitelný rozkmit a offset v procentech napájecího napětí
- Možnost generování pseudošumu s nastavitelným rozkmitem a offsetem
- Možnost generování pevného napětí v rozsahu 0-3.3V

V závislosti na zvolení výstupní frekvenci generovaného signálu je potřeba uvážit snížení použitého rozkmitu kvůli omezené rychlosti přeběhu  $SR = 1.92 \text{ V}/\mu\text{s}$   
Generátor optimalizuje počet vzorků na periodu signálu pro dosažení výstupní frekvenci generovaného signálu, která je blíže zadané hodnotě

## Reference

- [1] Jan Dujava. Softvérově definované osciloskopy s terminálovým rozhraním, 2023.
- [2] STMicroelectronics. Datasheet DS12589 stm32g431x6 stm32g431x8 stm32g431xb. [online], 10 2021. [cit. 2023-05-06].