

# Programujeme STM32

## nízkopříkonové aplikace

Ing. Vojtěch Skřivánek

```
RCC->CR |= RCC_CR_HSION;
```

```
while (!(RCC->CR & RCC_CR_HSIRDY));
```

```
RCC->APB1ENR |= RCC_APB1ENR_PWRE;
```

```
PWR->CR = (3 << PWR_CR
```

```
RCC->C
```

```
RCC->CFG
```

```
while ((RCC
```

```
RCC->CFGR = (
```

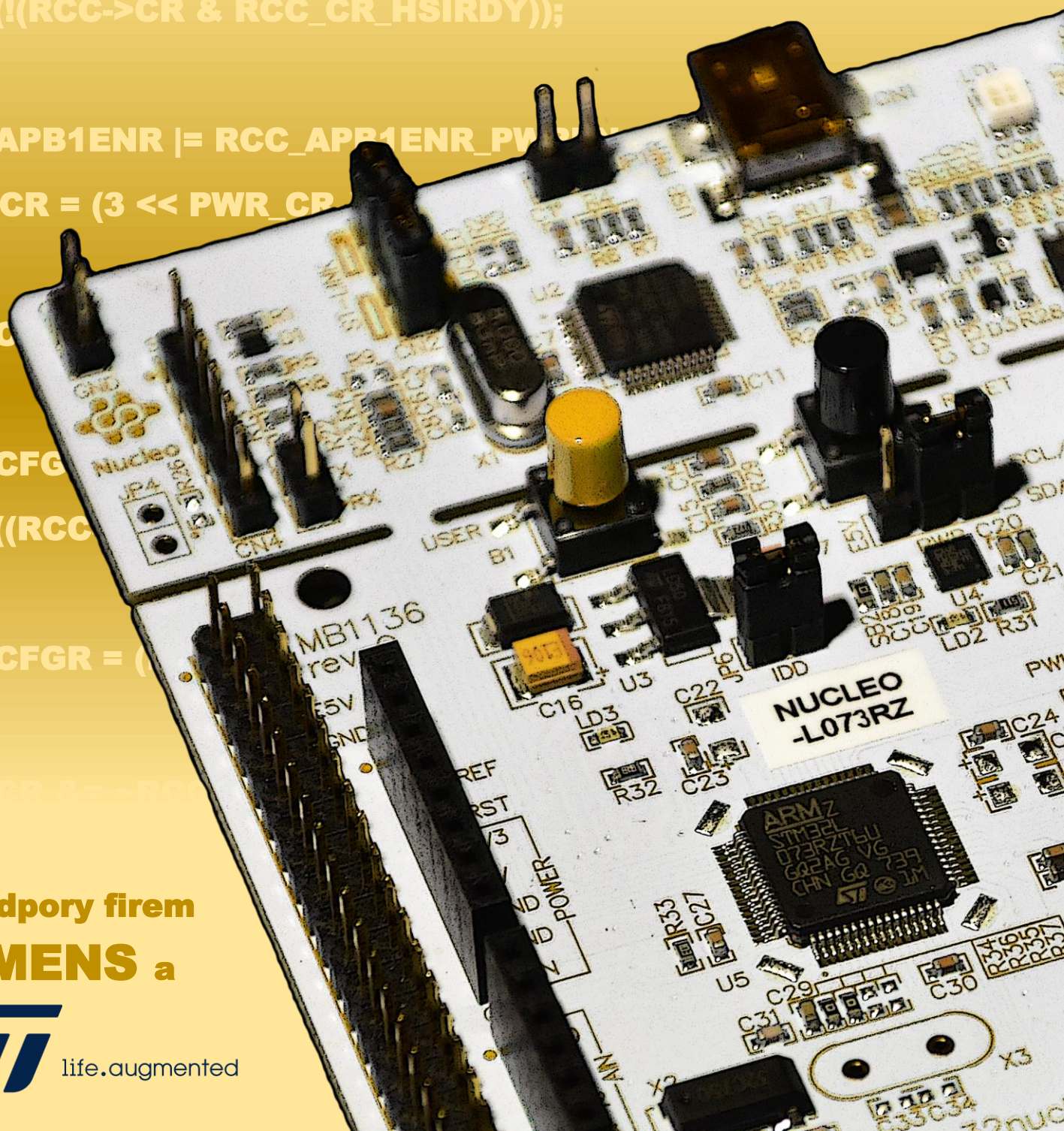
```
RCC->CR |= RCC
```

Za podpory firem

**SIEMENS** a



life.augmented



# **Programujeme STM32**

## **nízkopříkonové aplikace**

Ing. Vojtěch Skřivánek

Vydání první 2022

© Ing. Vojtěch Skřivánek

© Mgr. Tomáš Zahradníček - TZ-one

ISBN: 978-80-7539-147-6 (PDF verze)

ISBN: 978-80-7539-148-3 (ePub verze)

ISBN: 978-80-7539-149-0 (mobi verze)

# Poděkování

Děkuji firmám

**SIEMENS**

a



life.augmented

za podporu při psaní této knihy.



# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>1</b>
1.1	Motivace knihy	1
1.2	Struktura knihy	2
1.3	Fonty textu	3
<b>2</b>	<b>Vývojové nástroje</b>	<b>5</b>
2.1	Vývojová deska	6
2.2	Vývojové prostředí	7
2.3	Shrnutí	7
<b>3</b>	<b>Založení projektu</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Úsporná nastavení kontroleru</b>	<b>15</b>
4.1	Zdroj hodinového signálu	15
4.1.1	Vnitřní vícerychlostní zdroj	15
4.1.2	Příklad 1 - Změna frekvence MSI a napětové úrovně	17
4.1.3	Vnitřní vysokorychlostní zdroj	20
4.1.3.1	Příklad 2 – Nastavení HSI	21
4.1.3.2	Příklad 3 – Frekvence a rychlost programu	25
4.1.4	Vnější vysokorychlostní oscilátor	29
4.1.4.1	Příklad 4 – Vnější vysokorychlostní oscilátor	29
4.1.5	Vnitřní nízkorychlostní oscilátor	32
4.1.5.1	Příklad 5 – Vnitřní nízkorychlostní oscilátor a jeho kalibrace	33
4.1.6	Vnější nízkorychlostní oscilátor	36
4.1.6.1	Příklad 6 - Vnější nízkorychlostní krystal	36
4.1.7	Fázový závěs	39
4.1.7.1	Příklad 7 – Využití fázového závěsu	39
4.2	Nastavení vyrovnávací paměti	44
4.2.1	Příklad 8 – Vyrovnávací paměť	45
4.3	Nastavení periférií	50
4.3.1	Spotřeba zapnuté periferie	50
4.3.1.1	Příklad 9 – Změna spotřeby periferie	50
4.3.2	Distribuce hodinového signálu	56
4.3.2.1	Příklad 10 – Distribuce hodinového signálu	57
<b>5</b>	<b>Úsporné režimy a periferie</b>	<b>63</b>
5.1	Ladění programu v úsporných režimech	64
5.2	Nízkopříkonový provozní režim	66
5.2.1	Příklad 11 – Nízkopříkonový provozní režim	67
5.3	Spící režim	73
5.3.1	Příklad 12 – Princip spícího režimu	74

5.4	Nízkopříkonový spící režim . . . . .	79
5.4.1	Příklad 13 – Nízkopříkonový spící režim . . . . .	79
5.5	Odstavený režim . . . . .	81
5.5.1	Příklad 14 – Odstavený režim . . . . .	83
5.5.2	Příklad 15 – Probuzení pomocí periferie UART . . . . .	86
5.5.3	Příklad 16 – Probuzení pomocí periferie LPTIM . . . . .	89
5.5.4	Příklad 17 – Probuzení pomocí RTC AWU . . . . .	92
5.5.5	Příklad 18 – Probuzení pomocí budicího časovače . . . . .	96
5.5.6	Příklad 19 – Probuzení při detekci narušení . . . . .	99
5.5.7	Příklad 20 – Probuzení pomocí periferie COMP . . . . .	101
5.5.8	Příklad 21 – Probuzení pomocí periferie I2C . . . . .	103
5.6	Pohotovostní režim . . . . .	108
5.6.1	Příklad 22 – Pohotovostní režim . . . . .	109
<b>6</b>	<b>Úsporný program</b> . . . . .	<b>115</b>
6.1	Příklad 23 – Nastavení GPIO . . . . .	115
6.2	Příklad 24 – Nastavení RTC . . . . .	120
6.3	Příklad 25 - Úsporný přenos dat . . . . .	122
6.4	Příklad 26 - Spící režim místo zpoždovací smyčky . . . . .	125
6.5	Příklad 27 – Spící režim v praxi . . . . .	128
6.6	Příklad 28 – Program v paměti dat . . . . .	133
<b>7</b>	<b>Závěr</b> . . . . .	<b>137</b>

# Kapitola 1

## Úvod

Tato kniha volně navazuje na předchozí knihy z edice „Programujeme STM32“. Proto, pokud ještě nemáte zkušenosti s kontrolery STM32, doporučuji nejprve přečíst je.

Firma STMicroelectronics má ve svém produktovém portfoliu různé rodiny mikrokontrolerů. Každá rodina dominuje v jiné oblasti použití – vysoký výkon, bezdrátová konektivita, práce s analogovými signály, automotive a nebo nízký energetický odběr. A právě řada *STM32Lxxx*, do níž patří i kontroler *STM32L073RZ*, se kterým v této edici pracujeme, patří mezi kontrolery navržené tak, aby jejich příkon byl co možná nejmenší.

Kniha se tedy již nevěnuje tomu, jak využívat periferie kontroleru, ale zkoumá jej z jiného hlediska. V knize se budeme zabývat tím, co všechno má vliv na energetickou náročnost aplikace kontroleru.

V kapitolách budeme zkoumat a porovnávat, jaký zdroj a kmitočet hodinového signálu má vliv na energetický odběr. Dále si popíšeme, jaké existují úsporné režimy, čím se liší, jak je vyvolat, jak je opustit a jaká mají omezení. A mimo jiné se také dozvíme, jaké periferie jsou učeny pro práci v úsporných režimech.

Předpokládá se, že čtenář již má zkušenosti s programováním mikrokontrolerů *STM32*, ví, jak se pracuje s knihovními funkcemi *HAL* i jednotlivými registry a umí používat *STM32CubeIDE*.

### 1.1 Motivace knihy

V dnešní doba doslova volá po nízkopříkonových aplikacích. Nejenom, že se v posledních letech objevila spousta nových produktů z oblasti nositelné elektroniky:

- fitness náramky,
- chytré hodinky,
- chytré brýle (virtuální a rozšířená realita)

ale dokonce i produkty, které jsme dříve používali bez baterií, jsou dnes poháněné právě jimi:

- bezdrátová sluchátka,
- přenosné bezdrátové reproduktory,
- bezdrátové myši a klávesnice,
- zubní kartáčky a
- samočinné vysavače a sekačky

Samozřejmě nesmíme zapomenout na množství již klasických produktů, které svojí energii čerpají z baterie:



- mobilní telefony,
- tablety, touchpady, elektronické čtečky
- digitální fotoaparáty a videokamery
- přenosné hudební přehrávače,
- holicí strojky,
- detektory kouře a plynu,
- různá měřicí zařízení (laserové dálkoměry, osobní váhy),
- dálkové ovladače,

Výdrž všech těchto produktů malých rozměrů je omezená kapacitou baterie. Na zařízení jsou kladeny požadavky jako vysoký výkon, malá velikost a nízká hmotnost. A to všechno s co možná nejdelší výdrží baterie. Právě to, jak dlouho bude zařízení funkční na jedno nabití, je často vyhledávaným parametrem zákazníka. Tento údaj může ovlivnit, jak úspěšný produkt bude.

Vývoj zvyšování energetické hustoty baterií bohužel není tak rychlý, jako růst požadavků na výkon mnohých ze jmenovaných zařízení.

Jedním řešením tohoto problému je relativně úspěšné zvyšování účinnosti elektronických součástek. Například procesorová jádra **ARM** posledních několik let zvyšují svůj výpočetní výkon za současného snížení energetické náročnosti.

Druhým řešením je správná aplikace kontroleru, která co možná nejvíce šetří energii. Aplikace, v níž se maximální výpočetní kapacita jádra využívá pouze, když je to nezbytně nutné. Ve které je každá periferie zapnuta pouze tehdy, kdy je třeba ji využít. Která kontroler uspí, když zařízení není právě využíváno. Toto řešení je plně v rukou programátora.

A právě v této knize si ukážeme nástroje mikrokontroleru **STM32L073RZ**, které nám umožňují šetřit energii.

## 1.2 Struktura knihy

Knihy obsahuje tři kapitoly. Každá z nich se zaměřuje na jiný způsob úspory energie.

První kapitola se zaměřuje na nastavení kontroleru tak, aby po dobu běhu programu vyžadoval co nejmenší množství energie. Nejvíce se v ní porovnává spotřeba při různých nastaveních zdroje systémového hodinového signálu.

Druhá kapitola se zabývá úspornými režimy. Popisuje, jaké režimy existují, v čem se liší z hlediska spotřeby a jaká mají omezení. Také ukazuje, jak mezi režimy přepínat.

Poslední kapitola pojednává o perifériích kontroleru. Představuje práci s perifériemi speciálně určenými pro aplikace s nízkou spotřebou. V podkapitolách je porovnávána energetická náročnost různých periférií.

U většiny kapitol a příkladů budou vloženy a popsány grafy proudové spotřeby kontroleru. Z nich patrně, jak se mění odběr například při změně frekvence hodin, spuštění periferie nebo přechodu do úsporného režimu. Je třeba mít na paměti, že naměřené hodnoty nebyly získány v laboratorních podmínkách, proto je třeba na ně nahlížet jako na orientační, sloužící především k ilustraci relativních rozdílů.

### 1.3 Fonty textu

Anglické zkratky, názvy nabídek a políček vývojového prostředí a názvy registrů jsou vždy napsány tučnou kurzívou - např. ***AutoReload*** registr. Ač by bylo konzistentnější používat v knize buď pouze české, nebo pouze anglické názvosloví, existuje-li český ekvivalent (např. názvu registru), je použit, jelikož lépe zapadne do věty, která je pak srozumitelnější.

Odkazy na použité zdroje jsou uvedeny číslem v hranatých závorkách – např. [1].

Odkazy na body v obrázcích a grafech budou popsány tučným písmem v závorce - např. **(3)**.

*Další knihy z edice Programujeme kontrolery*



# Literatura

- [1] STMicroelectronics, *Ultra-low-power STM32L0x3 advanced Arm®-based 32-bit MCUs (RM0367)*, 2017
- [2] STMicroelectronics, *STM32 Nucleo-64 boards (UM1724)*, 2019
- [3] STMicroelectronics, *STM32L073x8, STM32L073xB, STM32L073xZ, Ultra-low-power 32-bit MCU Arm®-based Cortex®-M0+*, 2019
- [4] STMicroelectronics, *Oscillator design guide for STM8AF/AL/S, STM32 MCUs and MPUs (AN2867)*, 2020
- [5] STMicroelectronics, *STM32L0xx ultra-low power features overview (AN4445)*, 2014.
- [6] STMicroelectronics, *Cortex®-M0+ programming manual for STM32L0, STM32G0, STM32WL and STM32WB Series (PM0223)*, 2019.

(Použití obrázků z těchto zdrojů bylo povolenou firmou STMicroelectronics, která je jejich autorem a vlastníkem)

# Programujeme STM32

## nízkopříkonové aplikace

Ing. Vojtěch Skřivánek

Vydání první 2022

© Ing. Vojtěch Skřivánek

© Mgr. Tomáš Zahradníček - TZ-one

ISBN: 978-80-7539-147-6 (PDF verze)

ISBN: 978-80-7539-148-3 (ePub verze)

ISBN: 978-80-7539-149-0 (mobi verze)