

## Úkoly

**1.1** - Sestavení zapojení s STM32G431 na nepájivém poli – toto zapojení budete používat ve dvou funkcích **+8 bodů**

- Softwarově definovaný osciloskop, voltmetr, generátor - po nahrání námi dodaného firmware (Zero\_eLab\_Viewer nebo VSVI - Versatile STM32 Virtual Instrument - s programem DataPlotter)
- Vývojový kit s mikrokontrolérem STM32G431 s libovolnou funkcionalitou - po nahrání Vámi vytvořeného firmware (pomocí mbed.com, STM32CubeIDE nebo libovolného jiného)

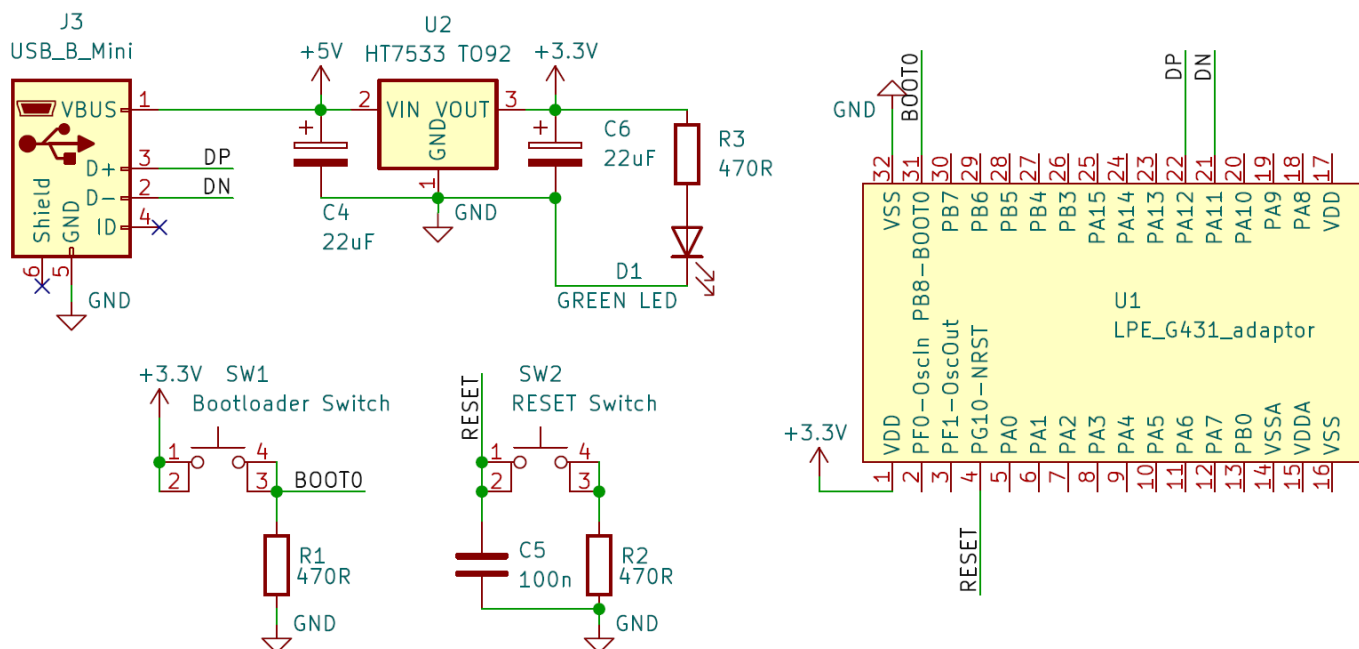
## Nepovinné úkoly

**1.2** Rozblikujte LED pomocí generátoru, dvě úrovně svitu (průběhy napětí na LED zobrazit na osciloskopu a poznamenat do sešitu...) **+1 bod**

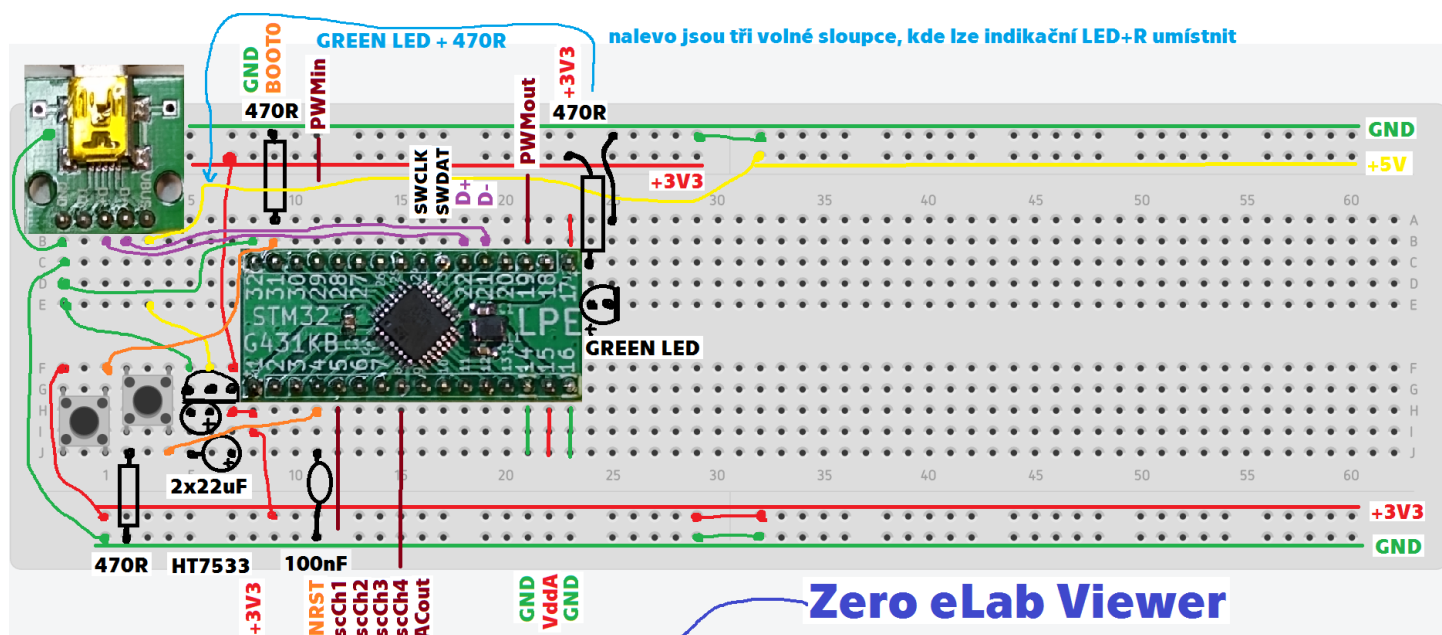
### 1.1 Sestavení zapojení s STM32G431 na nepájivém poli

Níže naleznete několik obrázků, které by Vám mohly pomoci při zapojování modulu, následuje trocha teorie pro objasnění funkce.

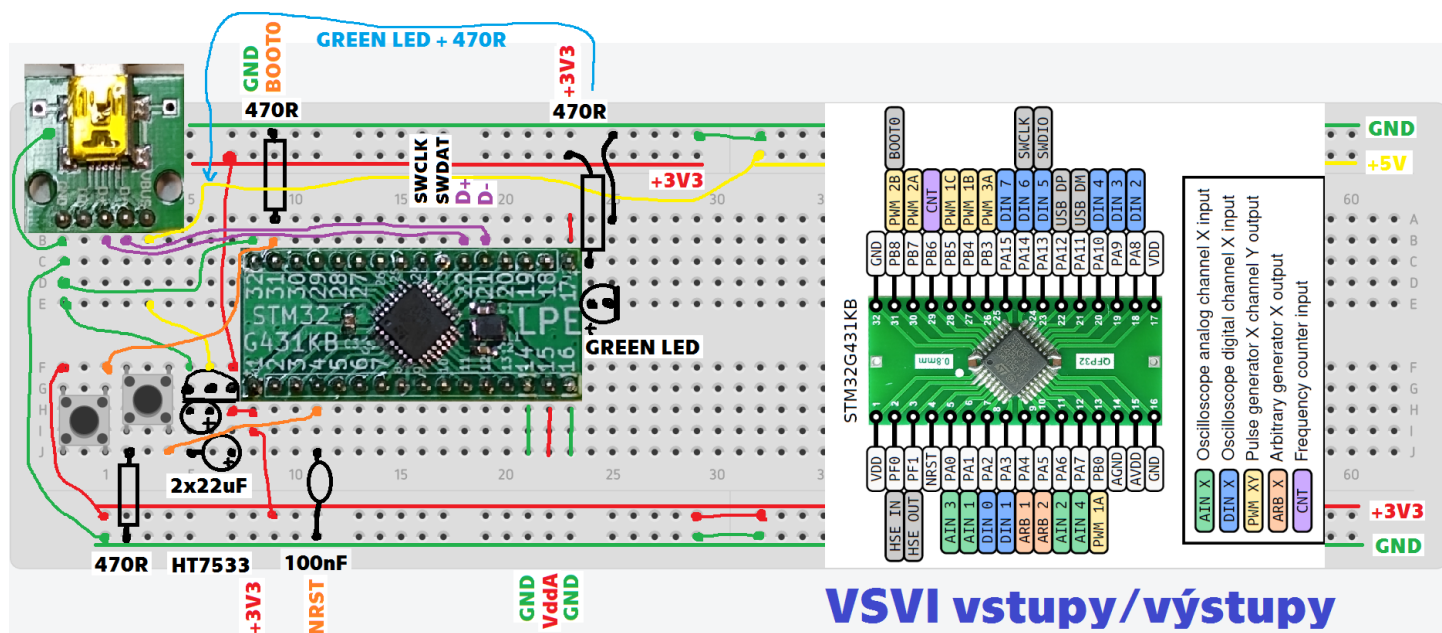
- Nejdříve zapojte drátky na propojení zemí (GND) a případně rozvod napájení (5V), přidejte USB konektor a ověřte, že multimetrem naměříte 5V, tam kde mají být (viz obrázek 1.2). Pokud budou k dispozici, použijte pro tyto napájecí propoje tlustší vodiče, které dostanete od cvičícího, tenčí dráty z krabice použijte na propojení ostatních signálů a další zapojování v průběhu semestru...
- Osadte regulátor napětí 3V3 (a jeho blokovací kondenzátory C<sub>4</sub>, C<sub>6</sub>) a změřte, že na výstupu je k dispozici napětí 3.3V.
- Následně osadte modul mikrokontroléru a další prvky - tlačítka, R<sub>1</sub>, C<sub>5</sub>, R<sub>2</sub> a potřebné propoje.
- Připojte na vývod 19 modulu mikrokontroléru (PA9, PWMout v případě Zero\_eLab\_Vieweru) rezistor 470 Ohm a LED proti GND. Pokud teď připojíte napájení, měl by LED po zapnutí zablikat. Nyní lze i spustit aplikaci Zero\_eLab\_Viewer a vyzkoušet funkci generátoru a osciloskopu - propojením vývodu 19 (PWMout) a 5 (kanál 1 osciloskopu - Ch.1).



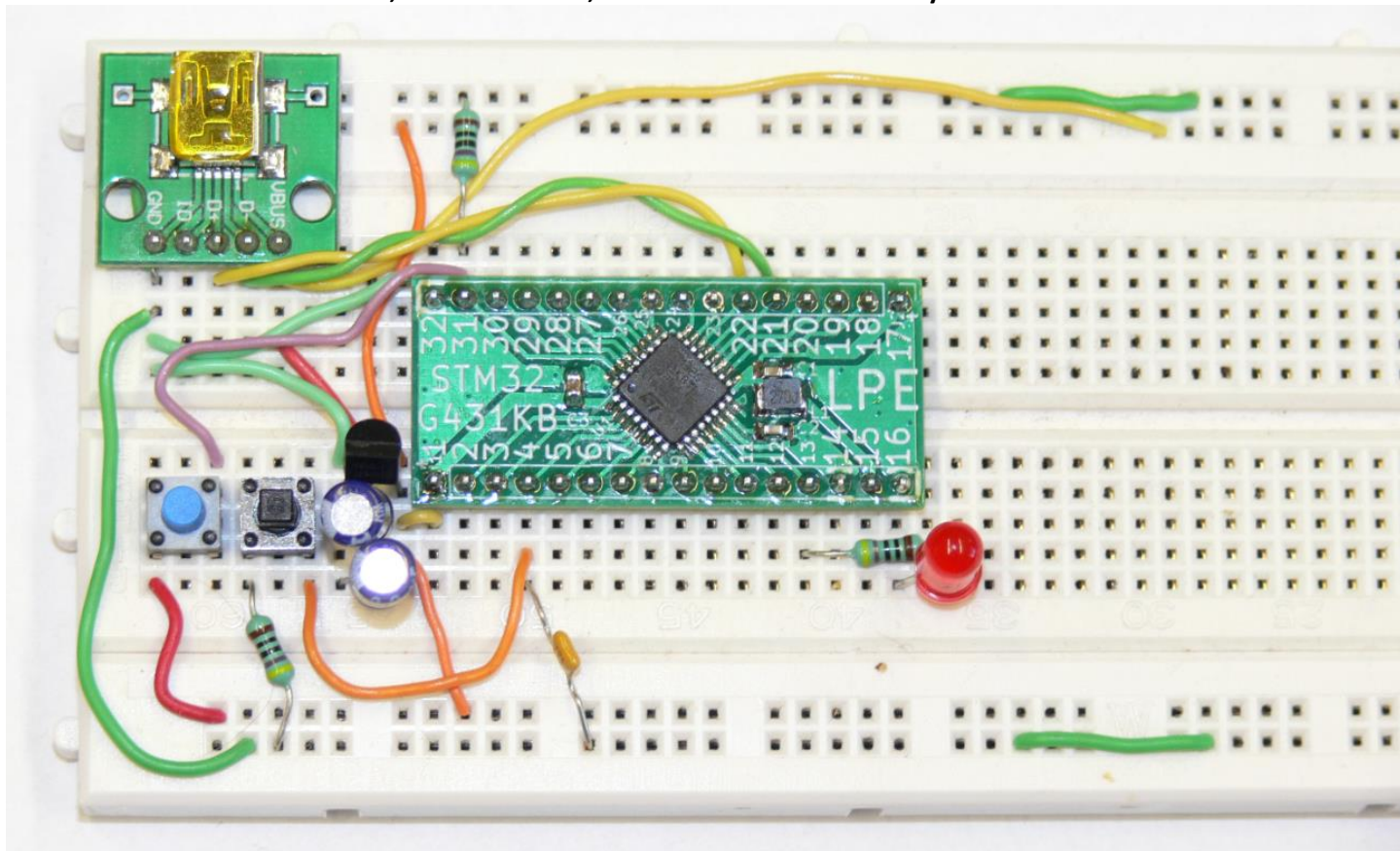
Obr. 1.1 Zjednodušené schéma kitu, kde je lépe viditelné co musíte zapojit vlastními silami (U1 je modul plošného spoje s mikrokontrolérem, který dostanete, na plném schéma zapojení na Obr. 1.6 označený jako „PCB ADAPTOR“ čárkovanou modrou čarou).



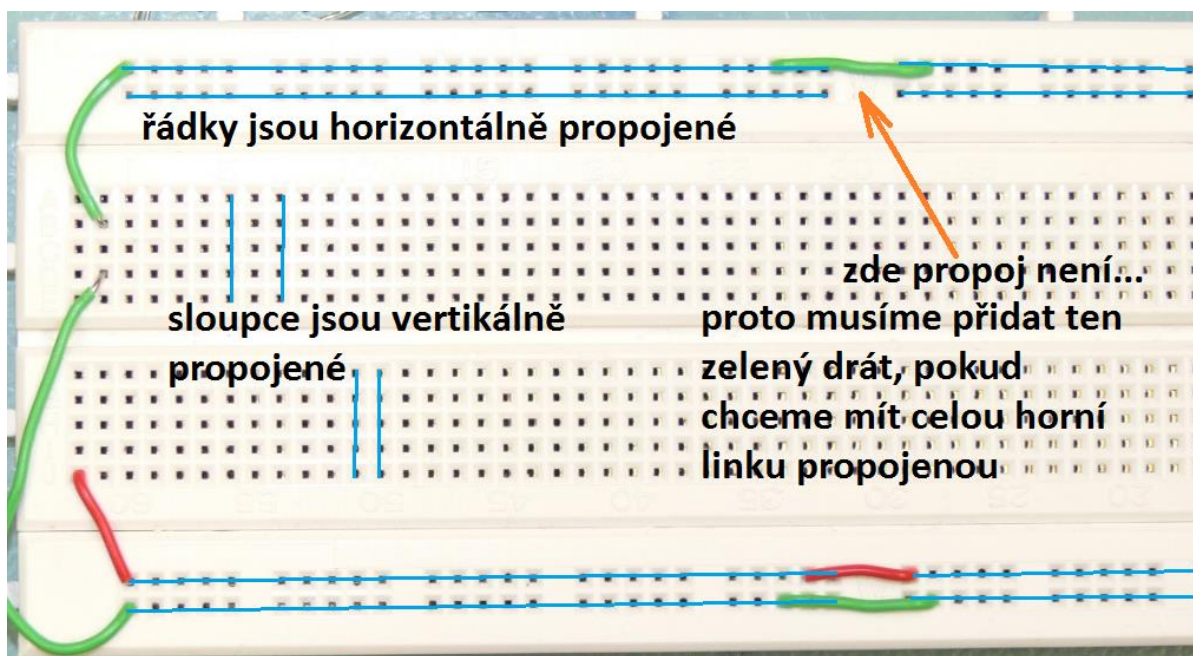
Obr. 1.2 Možné (doporučené) provedení zapojení na nepájivém kontaktním poli s označením pinů na modulu kde jsou vstupy a výstupy v případě použití SDI Zero eLab Viewer



Obr. 1.3 Zapojení pro SDI VSVI je stejné, ale liší se piny, které slouží jako vstupy a výstupy - dle obrázku napravo

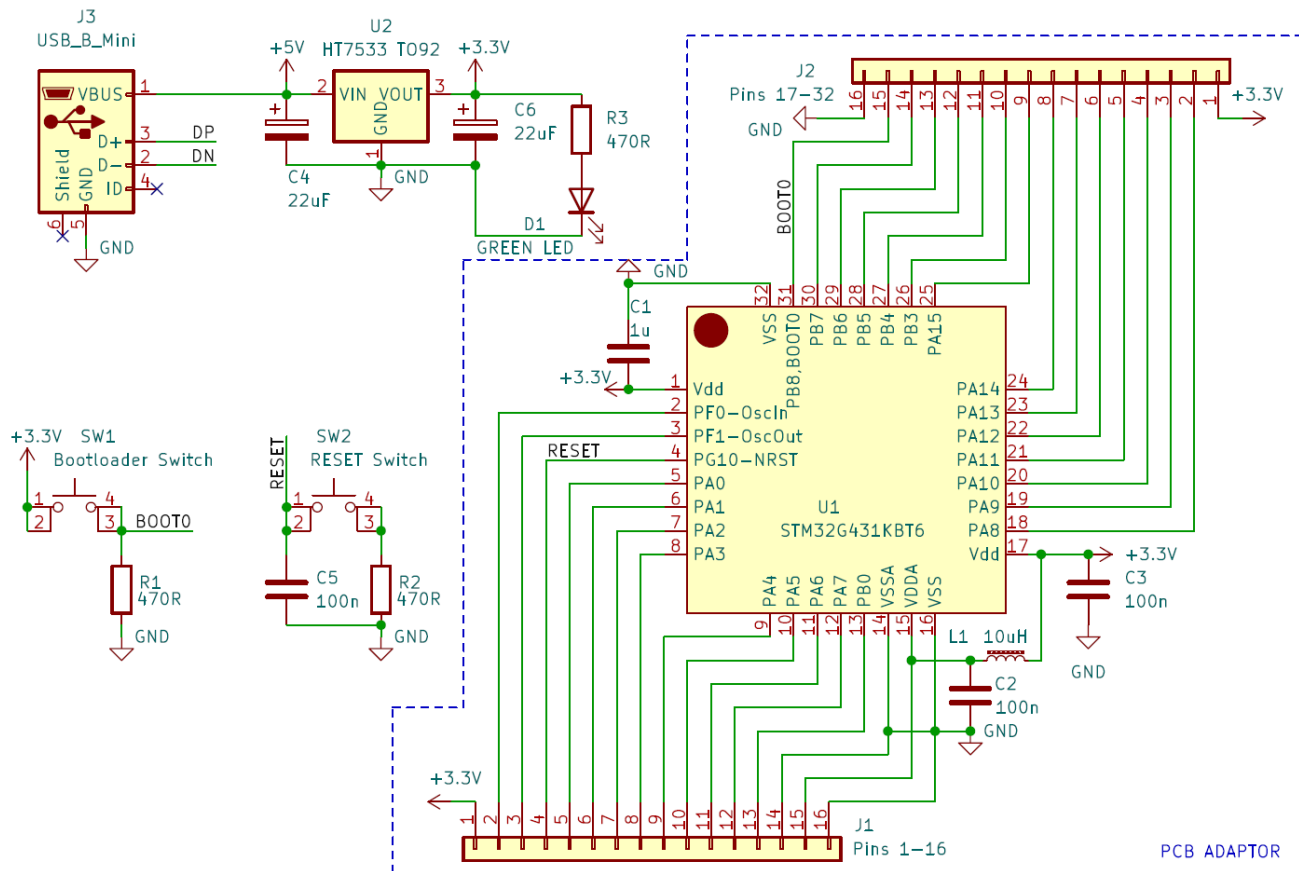


Obr. 1.4 Možné reálné provedení zapojení na nepájivém poli (určitě to zvládnete hezčeji než autor obrázku :-)



Obr. 1.5 Jak je uspořádáno nepájivé propojovací pole?

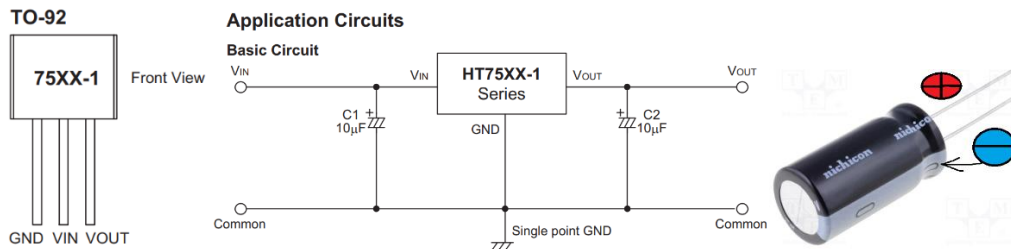




Obr.1.6 Celkové schéma zapojení kitu s mikrokontrolérem STM32G431KB

### Zapojení s STM32G431KB (TEORIE)

Schéma zapojení je na obrázku 1.6 – jedná se o minimalistickou variantu nutnou pro provoz a programování mikrokontroléru (MCU). Zařízení je napájeno z rozhraní USB. MCU vyžaduje napájení napětím 3.3 V (doporučený rozsah dle katalogového listu je 1.71-3.6 V). Prosím, nepřipojujte ho na 5V, to už je mimo výrobcem specifikované „ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS“ -0.3...4.0 V. V zapojení je lineární stabilizátor napětí HT7533, který z napětí USB sběrnice (přibližně 5V) vytváří 3.3 V. U tohoto typu stabilizátoru se výkon rovný  $(5V-3.3V) \cdot I$  přeměňuje na teplo (na rozdíl například od spínaného měniče typu „step-down“). Stabilizátor potřebuje ke své funkci (zaručení stability regulační smyčky) kondenzátor na vstupu a výstupu, viz jeho katalogový list (použity elektrolytické kondenzátory 2x 22 µF - pozor elektrolytické kondenzátory jsou polarizované - mají + a -, nutno dodržet, jinak hrozí nechtěné efekty - ohřev, smrad, exploze, ne nutně v tomto pořadí). Bez problému lze použít i kondenzátory s kapacitou 47 µF.

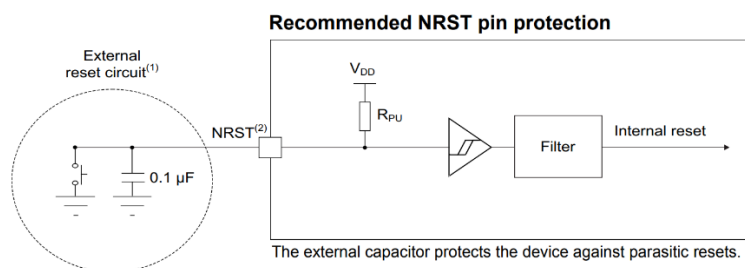


Obr. 1.7 Doporučené základní zapojení lineárního regulátoru napětí HT7533-1 a polarita elektrolytického kondenzátoru

Přímo na destičce s plošnými spoji, na které je připojený MCU jsou další kondenzátory (100 nF, 1 µF) připojené mezi Vcc a GND. Tento kondenzátor má dvě funkce – pokud z jakéhokoli důvodu poklesne napájecí napětí (špatný kontakt v konektoru, rušení při řízení motoru apod.) energie v něm uložená udrží po omezenou dobu napájecí napětí na svorkách

procesoru v dovolených mezích. Při změnách stavu uvnitř MCU dochází ke vzniku velmi krátkých (ns) proudových špiček, které jsou pokryty z energie uložené v kondenzátoru. Jelikož je kondenzátor fyzicky blízko u MCU zmenšuje to vyzařované rušení (proudová smyčka je vlastně anténa, čím je menší, tím lépe). Bez tohoto kondenzátoru by Vaše zapojení zaručeně neprošlo u testů EMC (Electro-Magnetic Compatibility). Na destičce je také tlumivka L1, která odděluje napájení analogových obvodů VDDA (např. pro AD převodník) od hlavního 3V3 napájení VDD, kde se typicky vyskytuje více rušení. Samotný pin VDDA je také blokován keramickým kondenzátorem C2 (1  $\mu$ F). Rušení, to jsou typicky vyšší frekvence, dané těmi úzkými špičkami odběru proudu, které tlumivka nepropustí, protože tvoří spolu s C2 pasivní hornofrekvenční zadrž.

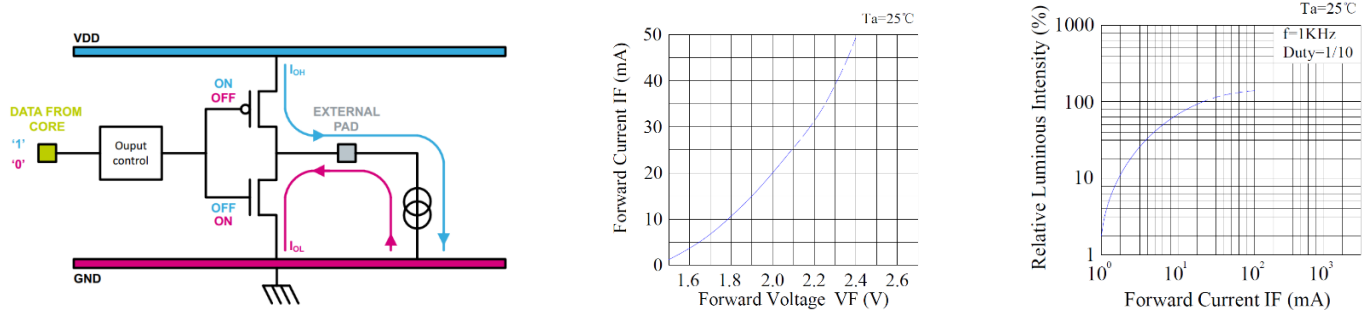
Na pin čtyři je připojeno tlačítko RESET. V MCU je integrován tzv. „pull-up“ rezistor o hodnotě 25-55 k $\Omega$ , který zajistí definovanou úroveň na pinu MCU (log. 1), i když není tlačítko sepnuto a vývod je prakticky nezapojený. V reálné aplikaci je vhodné připojit kondenzátor 100 nF proti GND, který zajistí větší odolnost zapojení proti resetu způsobenému externím rušením. Reset je aktivní v log. 0, proto je tlačítko připojené na GND.



Obr. 1.8 Doporučené zapojení RESET vstupu MCU. Není na závadu, když do série s tlačítkem připojíte rezistor 47-220 Ohm, nebudete tak tlačítkem přímo zkratovávat nabitý kondenzátor...

**Poznámka** - pull-up a pull-down rezistory je možné programově aktivovat téměř na všech pinech MCU, jsou implementovány jako rezistor v sérii s PMOS nebo NMOS tranzistorem, typická hodnota je 40 k $\Omega$ .

Pro otestování funkčnosti je k MCU vhodné připojit LED (Light Emitting Diode). LED je třeba připojit k MCU přes sériový rezistor. Jeho velikost se určí následovně. Z katalogového listu LED zjistíme, jaký je na LED úbytek napětí při požadovaném pracovním proudu (proud zase určuje svítivost, tu najdeme v katalogovém listu). Typická hodnota může být například  $U_F = 2$  V při  $I_F = 20$  mA (index F znamená „forward“ - v propustném směru).  $U_F$  se může pohybovat od 1.1 V (IRED - InfraRED Emitting Diode) po 3.5 V (modré, bílé LED, některé super-svítivé LED). Pro indikační účely LED připojené přímo na pin MCU se spokojíme s proudem max.  $I_F = 5$  mA, protože dle specifikace výrobce MCU je  $I_{MAX} = 25$  mA pro jeden výstupní pin. Pokud je v katalogovém listu LED zobrazena závislost  $I_F$  na  $U_F$ , lze přesněji určit hodnotu  $U_F$  pro námi zvolený  $I_F$ . Od výstupní úrovně napětí v log. 1 na pinu procesoru (3.3 V – zanedbáváme snížení tohoto napětí s rostoucím výstupním proudem vlivem úbytku na výstupním tranzistoru, např. 100 mV při 5 mA) odečteme  $U_F$  a vydělíme  $I_F$  (proud je v obou sériově řazených prvcích shodný). Vyjde nám odpor předřadného rezistoru k LED. Například  $R = (3.3 \text{ V} - 1.65 \text{ V}) / 0.005 = 330 \Omega$ . Hodnotu 330 Ohm byste v laboratoři najít mohli, protože je ze základní řady hodnot E6, ale v zásadě nic nebrání tomu použít rezistor 220 - 470 Ohm, LED bude svítit také a MCU to zvládne.



Obr. 1.9 Nalevo - Schématické znázornění pinu MCU v režimu digitální výstup, uprostřed - závislost proudu na napětí v propustném směru u LED 503VD2E-1B, vpravo - závislost relativní svítivosti na proudu v propustném směru - pro proud 5 mA (25 % nominální hodnoty) je svítivost přibližně 40 % nominální hodnoty.

### Požadovaný firmware lze do mikrokontroléru nahrát několika způsoby

- 1) Aktivujete režim BOOTLOADER – při restartu MCU bude stisknuté tlačítko BOOT (vývod č. 31 MCU v úrovni log. 1). Pokud budete mít připojené USB rozhraní, objeví se nové zařízení „STM32 Bootloader“. Poté s pomocí vhodného software na PC nahrajete požadovaný firmware (**STM32CubeProgrammer**, DFuse\*)
- 2) Režim BOOTLOADER funguje i přes rozhraní UART, k tomu byste ale potřebovali například převodník USB/UART v úrovních 3V3. Ten budete mít k dispozici až pro úlohy pátého týdne. Pro Vás by bylo použití tohoto způsobu výhodné, jen když byste chtěli využít piny rozhraní USB pro jiný účel, ale zároveň byste měli zapojený UART pro komunikaci s PC...
- 3) Pomocí rozhraní SWD (Serial Wire Debug) – k tomu potřebujete například kit Nucleo od ST, který obsahuje „ST-Link“ ten slouží primárně pro programování mikrokontroléru na Nucleu, ale po vyjmutí dvou „jumper“ propojek lze programovat i externí MCU (Micro-Controller-Unit). V ideálním případě propojíte pět signálů (Vcc, GND, RESET, SWDIO, SWCLK), ale programování bude fungovat i když propojíte jen SWDIO, SWCLK a GND. Velkou výhodou tohoto rozhraní je možnost „ladění“ programu přímo ve Vašem MCU, to je ale možné jen s příslušným IDE (např. CubeIDE od ST – dostupné zdarma na [www.st.com](http://www.st.com)) Popis zde: [https://embedded.fel.cvut.cz/sites/default/files/kurzy/ETC/F0\\_Lab\\_SW/Progr\\_Nucleo303\\_F042\\_5.pdf](https://embedded.fel.cvut.cz/sites/default/files/kurzy/ETC/F0_Lab_SW/Progr_Nucleo303_F042_5.pdf) Po dohodě lze zapůjčit STlink modul (STM32G0-SO8-DISCO), který Vám umožní programování stylem „přetáhnutí“ programu na externí flashku v průzkumníku souboru Windows.

Poznámka - na některých PC (často laptotech) nefunguje správně USB komunikace s programem **STM32CubeProgrammer**, v těchto případech se osvědčilo připojit modul mikrokontroléru přes USB hub (<https://www.mironet.cz/axagon-ready-hub-externi-4x-usb20-cerna+dp298520/>) s ním to pak již funguje...

\*nouzové řešení, nepříliš uživatelsky přívětivý nástroj, který navíc vyžaduje jiný driver než program CubeProgrammer

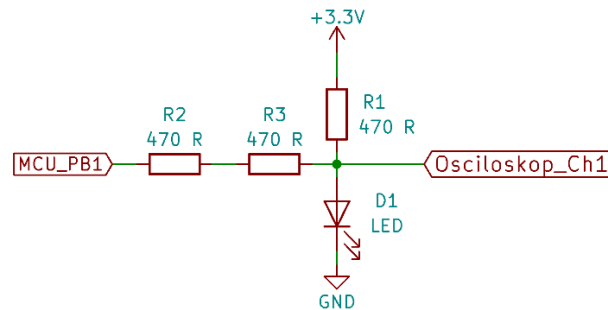
### Nepovinné úkoly na procvičení problematiky

**1.2) Rozblikajte LED** pomocí (arbitrary) generátoru, dvě úrovně svitu (průběhy napětí na LED zobrazit na osciloskopu a poznamenat do sešitu...)

Několik možností řešení:

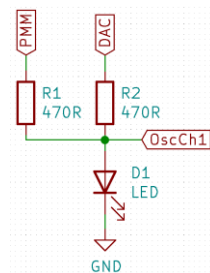
- a) se zapojením na nepájivém poli s mikrokontrolérem STM32G431 - generátor (aplikace „zero\_elabviewer“), PWM výstup

Budeme napájet LED ze dvou zdrojů napětí. Přes rezistor 470 Ohm z napětí 3.3 V a současně přes druhý rezistor 2x470 Ohm z výstupu generátoru. Vstupem Ch1 osciloskopu budeme sledovat napětí na LED diodě. Jak se změní charakter blikání, pokud u generátoru použijeme jen jeden rezistor 470 Ohm - a proč?



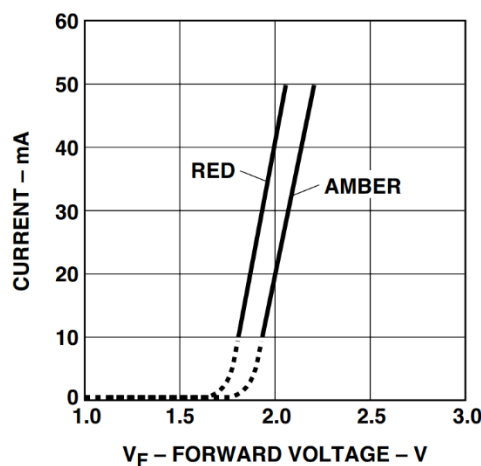
Obr. 1.10 Příklad zapojení pro úkol 1.2a

b) se zapojením na nepájivém poli s mikrokontrolérem STM32G431 - generátor (aplikace „zero\_elabviewer“), DAC + PWM výstup. Softwarově definovaný instrument umí pomocí vestavěného DA převodníku generovat i jiné než čistě obdélníkové průběhy (sinus, trojúhelník...). Pokud tedy budeme LED napájet z těchto dvou výstupů zároveň, přičemž každý výstup bude od LED oddělen vlastním R (například o hodnotě 470 Ohm), můžeme dosáhnout kýženého chování (a opět napětí na LED sledujeme pomocí kanálu osciloskopu).



Obr. 1.11 Příklad zapojení pro úkol 1.2b

Jak bude vypadat napětí na LED diodě - bude málo nebo hodně proměnné? Souvisí to nějak s Volt-Ampérovou charakteristikou LED diody, viz níže?



Obr. 1.12 Příklad volt-ampérové charakteristiky LED