

Zapojení s operačním zesilovačem - první část

Úkoly

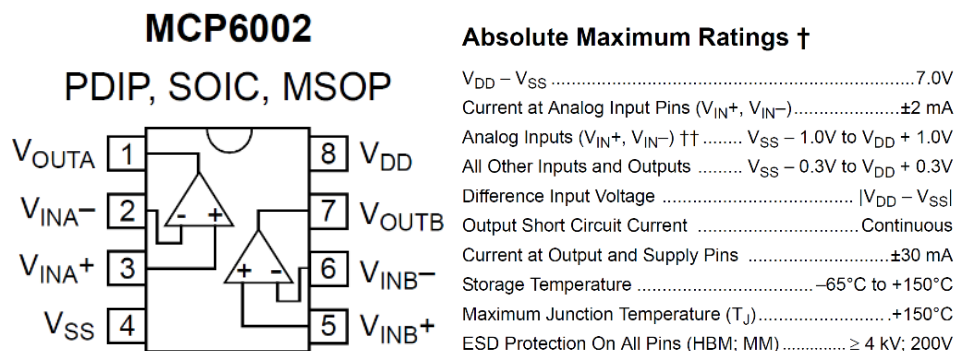
- 4.1** Zapojte OZ jako sledovač napětí (impedanční oddělovač), na vstupu napětí na LED ($I_{LED}=5-20\text{mA}$), změřte výstupní odpor tohoto zapojení pro $I_{OUT} = 0$ a 4 mA (zatížení OZ) +2 body
- 4.2** Sestavte neinvertující zesilovač napětí 11x a změřte pomocí něj saturační napětí NPN tranzistoru. +2 body
- 4.3** Sestavte zapojení I/U převodníku s OZ a použijte jej pro zpracování signálu z fotodiody (náhrada čirou LED). Na fotodiodu blikajte pomocí LED (frekvence 1 Hz-1 kHz, střída 2-50 %). Uspořádejte dané prvky jako reflexní senzor. +3 body
- 4.4** Změřte vstupní napěťový offset použitého operačního zesilovače (MCP6002). +1 bod

Nepovinné

- 4.5** Naprogramujte STM32, aby fungoval jako reflexní snímač pro zapínání osušovače rukou – spotřebič simuluje LED, svítící po dobu 3 sekund po aktivaci. Použijte techniku modulace vysílaného světla krátkými pulzy pro zvýšení dosahu. Vyhodnocujte signál tak, abyste potlačili externí osvětlení. Úroveň indikace lze nastavovat například odporovým trimrem. +3 body

Operační zesilovač je velmi užitečná součástka, kterou využijeme jako základ pro impedanční oddělovač, invertující a neinvertující zesilovač, zdroj proudu, regulátor, integrátor, aktivní filtr, aktivní usměrňovač, komparátor, budič AD převodníku nebo oscilátor...

V LPE budeme používat zesilovače MCP6002, které jsou vhodné z několika důvodů: jsou takzvaně „single-supply“ – nevyžadují symetrické napájení (např. $\pm 15\text{V}$), pracují od nízkého napájecího napětí (1.8-6V) a vstupy i výstupy jsou typu „rail-to-rail“. To znamená, že vstupní napětí může být v rozsahu GND-Vcc a výstupní napětí se tomuto rozsahu také blíží. Výstupní napětí je vždy o něco vyšší než GND a nižší než Vcc, a to o úbytek na výstupním regulačním prvku – tranzistoru, přesná specifikace je v datasheetu. Zesilovač má pro aplikace v LPE dostatečně nízkou vstupní napěťovou nesymetrii (offset - max. $\pm 4.5\text{ mV}$), rozumnou šířku pásma (1 MHz), malé vstupní proudy ($\pm 1\text{ pA}$) a nízký napájecí proud (typ. $100\mu\text{A}/\text{zesilovač}$). To vše ve snadno použitelném osmi-nožičkovém DIP pouzdru a za akceptovatelnou cenu ($< 8\text{ Kč}$).



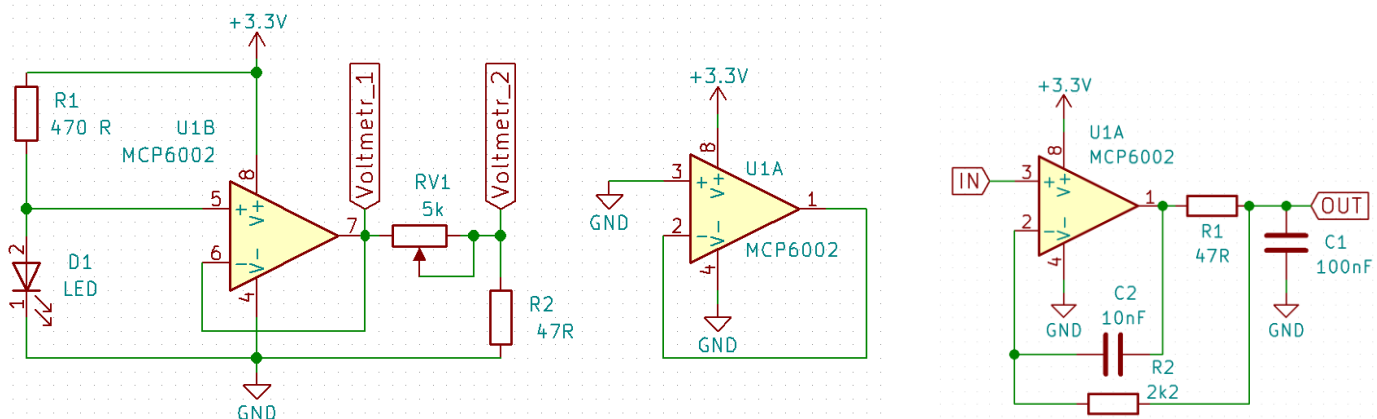
Obr. 4.1 Zapojení vývodů operačního zesilovače MCP6002 a jeho mezní parametry, které se nesmí překročit

4.1 Zapojte OZ jako sledovač napětí (impedanční oddělovač), na vstupu napětí na LED ($I_{LED}=1-20\text{mA}$), změřte výstupní odpor tohoto zapojení pro $I_{OUT} = 0$ a 2 mA a třeba 8-10 mA (zatížení OZ)

Sledovač napětí je nejjednodušší zapojení s OZ, viz Obr. 4.2 - nalevo. Na vstupu je napětí na LED diodě, prakticky to samé napětí bude i na výstupu, pokud zatěžovací proud nepřekročí jistou mez (viz datasheet). V praxi se lze setkat často se sledovačem zapojeným dle obrázku napravo. Toto zapojení se používá jako „driver“ kapacitní zátěže (kapacita na vstupu AD převodníku nebo třeba dlouhý koaxiální kabel). Pokud bychom připojili kapacitní zátěž přímo na výstup OZ, je velká pravděpodobnost, že zapojení bude nestabilní - bude kmitat. Rezistor R_1 odděluje výstup operačního zesilovače od kapacitní zátěže, rezistor R_2 uzavírá zpětnou vazbu a kondenzátor C_2 zajistí stabilitu zapojení (eliminuje vliv pólu a nuly vnesených zatěžovacím kondenzátorem C_1). **Toto rozšířené zapojení nemusíte zapojovat.**

Pro změření výstupního odporu OZ použijeme následující postup: zapojíme OZ jako sledovač a vstup připojíme na LED (tedy napětí cca 2V). Druhý operační zesilovač (v pouzdře jsou dva...) je vhodné zapojit také jako sledovač a vstup připojit třeba na GND. Jinak by v důsledku nezapojených vysoko-impedančních vstupů a vsudypřítomného rušení mohl jeho výstup kmitat a zbytečně zvyšovat napájecí proud OZ (Obr. 4.2 uprostřed).

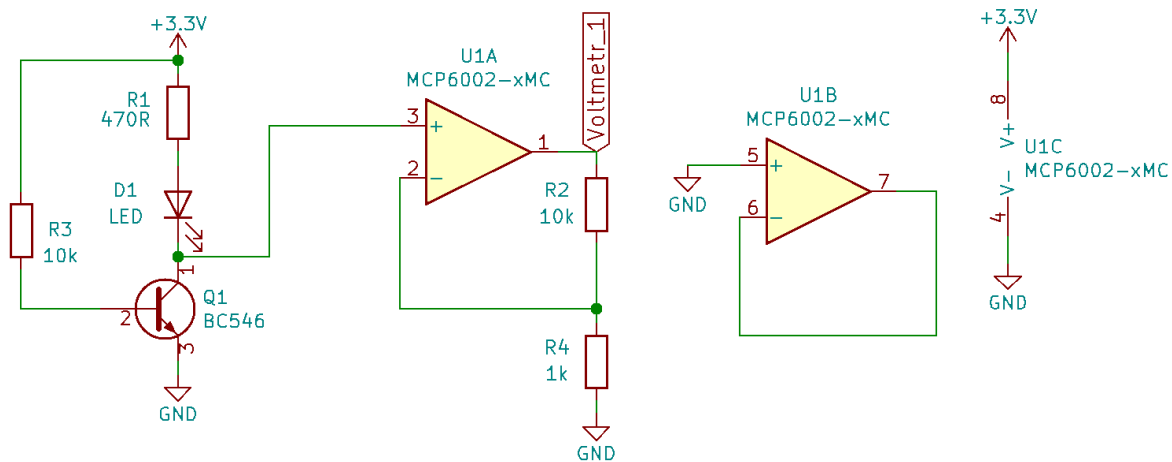
Změříme výstupní napětí naprázdno (nepřipojený zatěžovací rezistor) = U_0 . Na výstup připojíme vhodný zatěžovací rezistor, například 470 Ohm (nebo odporový trimr) a změříme výstupní napětí U_{V1} . Aktuální zatěžovací proud vypočítáme například z napětí U_{V2} – úbytek na rezistoru 47 Ohm. Výstupní odpor určíme podobně jako při měření diferenciálního odporu LED – z difference výstupního napětí pro $I = 0$ mA a 2 mA) Jaká je teoretická ideální hodnota výstupního odporu sledovače s OZ?



Obr. 4.2 Zapojení operačního zesilovače pro měření výstupního odporu

4.2 Sestavte neinvertující zesilovač napětí 11x a změřte pomocí něj saturační napětí NPN tranzistoru

Použijeme klasický neinvertující zesilovač, zesilované napětí bude saturační napětí kolektor-emitor na otevřeném NPN tranzistoru, viz schéma na Obr. 4.3. Můžete vyzkoušet, jak se bude saturační napětí měnit, pokud použijete bázeový proud 2x větší a 40x větší než potřebný pro daný kolektorový proud LED (např. $I_c = 5\text{mA}$ pro dva 470 Ohm rezistory zapojené paralelně, v sérii s LED). Jak se vypočítá zesílení neinvertujícího zesilovače s OZ?

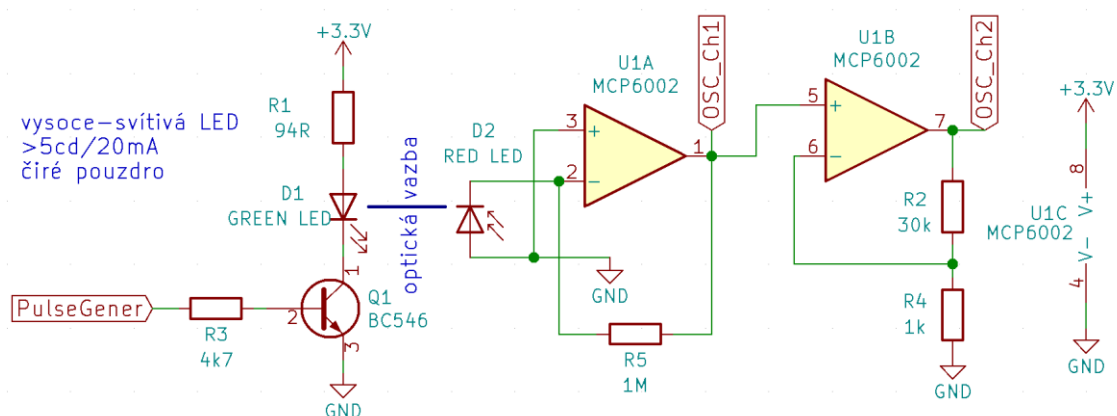


Obr. 4.3 Zapojení pro měření saturačního napětí tranzistoru

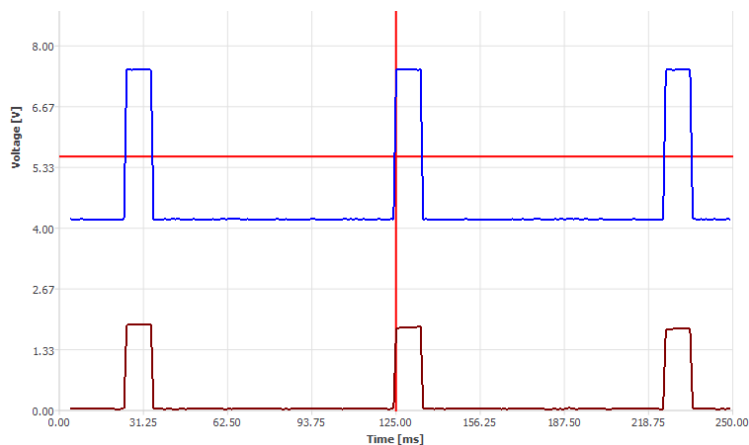
4.3 Sestavte zapojení I/U převodníku s OZ a použijte jej pro zpracování signálu z fotodiody (náhrada čirou LED*). Na fotodiodu blikajte pomocí vysoce-svitivé LED (zvolte frekvenci mezi 10 Hz-1 kHz, střída 1-50 %). Uspořádejte dané prvky jako reflexní senzor.

U fotodiody je lineární závislost mezi intenzitou dopadajícího záření a výstupním proudem nakrátko. Použijeme tedy převodník I/U s operačním zesilovačem (U1A), který má v ideálním případě nulový vstupní odpor. Volbou vhodného rezistoru do zpětné vazby přizpůsobíme převodní charakteristiku požadované aplikaci (začněte s $R = 1 \text{ MOhm}$, výstup chceme později připojit k AD převodníku v mikrokontroléru...). Sledujte výstup, když bude snímat LED odrazem přes podložku (černá i bílá) i napřímo... Na výstup převodníku I/U lze v případě reflexního uspořádání (a tedy slabšího signálu) přidat neinvertující zesilovač (U1B), který dále zesílí signál z I/U převodníku a umožní jeho zpracování v mikrokontroléru. **Jaký maximální proud lze použít pro LED, pokud bude blikat pouze úzkými pulzy (datasheet) – je takový režim k něčemu dobrý?**

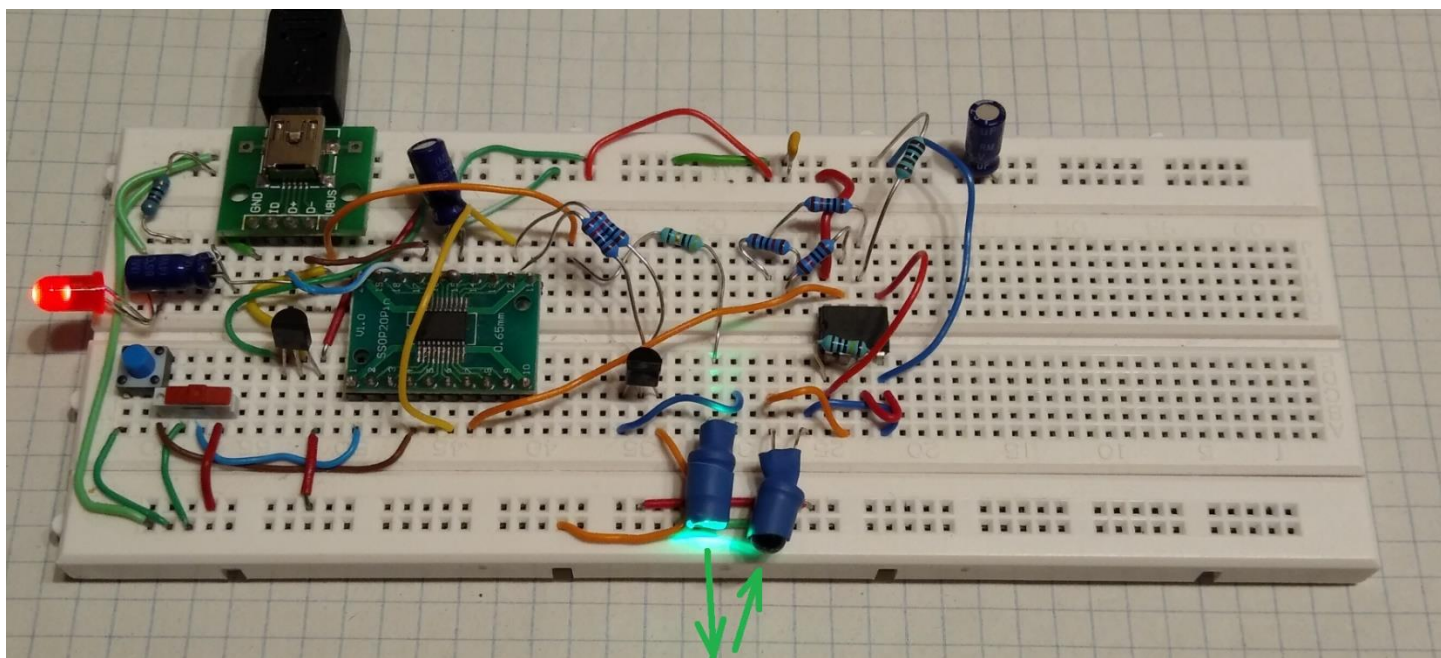
* LED bude citlivá na záření, které má stejnou nebo kratší vlnovou délku než sama vyzařuje. Zelená LED by tedy neměla být citlivá na světlo červené LED (ale naopak to fungovat bude). Tedy ať je vysílací LED zelená, přijímací červená nebo žlutá. Pokud máte jen dvě zelené, zkuste to s nimi...



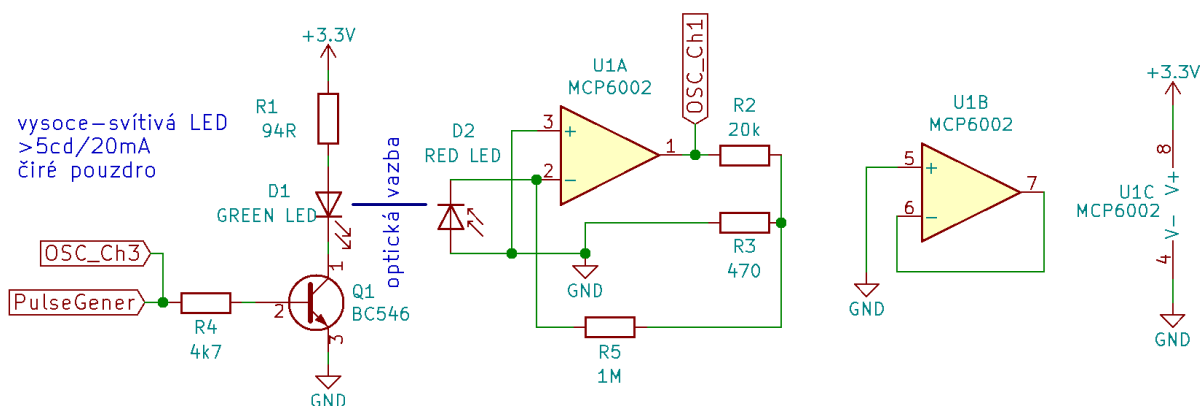
Obr. 4.4 Zapojení s fotodiodou nakrátko – převodník proudu na napětí s operačním zesilovačem



Obr. 4.5 Příklad výstupního signálu – výstup za zesilovačem dole



Obr. 4.6 Příklad realizace na nepřájivém poli, všimněte si obalení LEDek smršťovací bužírkou – zamezí přímé optické vazbě mezi vysílačem a přijímačem – v nouzi lze použít jakoukoliv lepicí-izolační pásku

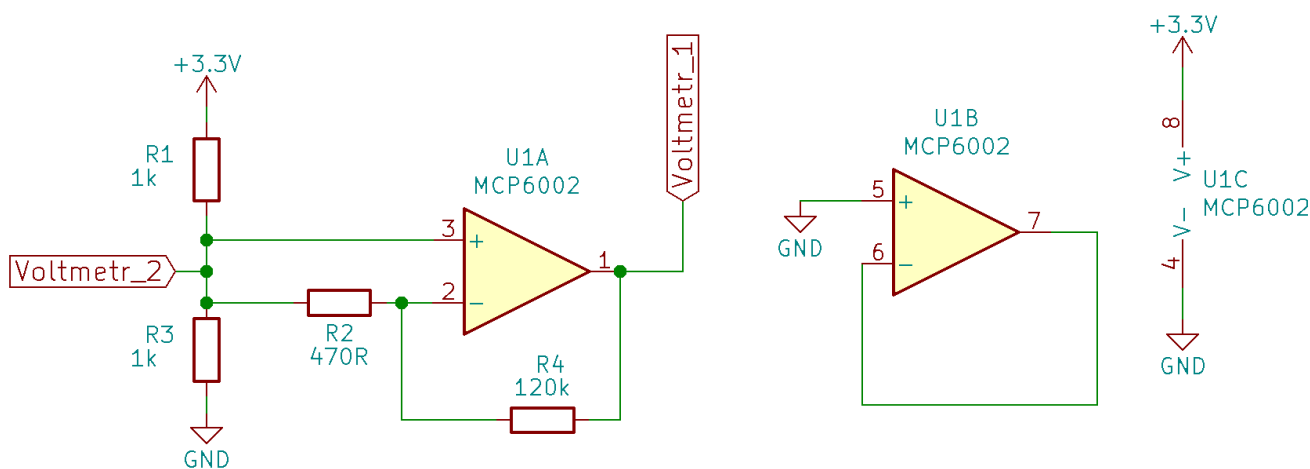


Obr. 4.7 Alternativní zapojení pro reflexní senzor – využívá pouze jeden OZ, ale má pomalejší odezvu

Zapojení na Obr. 4.7 používá jen jeden operační zesilovač, jedná se opět o I/U převodník, ale zpětnovazební rezistor R5 „vidí“ na výstup přes odporový dělič R2, R3 což vede k dalšímu zesílení signálu. Velké zesílení v jednom stupni ale negativně ovlivňuje frekvenční odezvu zapojení – hrany jsou výrazně pomalejší oproti zapojení z Obr. 4.4

4.4 Změřte vstupní napěťový offset použitého operačního zesilovače (MCP6002)

Vstupní offset u operačního zesilovače MCP6002 může dle datasheetu nabývat hodnot $\pm 4.5\text{mV}$. Je tedy ideální měřit offset zesílený (zesílení v řádu 100-1000), aby bylo měření jednodušší a přesnější. Jelikož může offset nabývat kladných i záporných hodnot je u OZ napájeného stylem „single supply“ nutné „podepřít“ vstupy nějakým potenciálem v rozsahu GND-Vcc, třeba polovinou Vcc (dělič R1,R3). Zesílení určí rezistory R2 a R4 a bude: $A_u = 1 + (R4/R2)$. Offset pak bude roven napětí mezi body (Voltmetr2 a Voltmetr1), děleno zesílením.



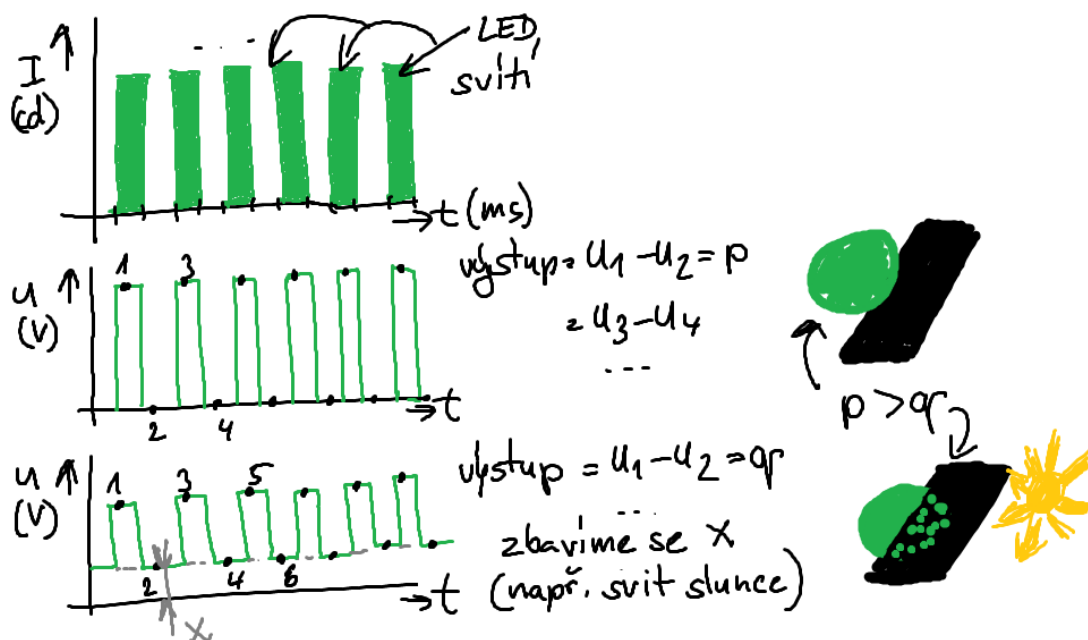
Obr. 4.8 Zapojení pro změření offsetu operačního zesilovače

NEPOVINNÉ

4.5 Naprogramujte STM32, aby fungoval jako reflexní snímač pro zapínání osušovače rukou

Spotřebič simuluje LED, svítící po dobu 3 sekund po aktivaci. Zapnutí LED při překročení nastavené úrovně (na pevno v programu nebo třeba pomocí odporového trimru zapojeného jako dělič napětí a měřeného ADC MCU).

Použijte techniku modulace vysílaného světla krátkými pulzy pro zvýšení dosahu (měřit výstup v době LEDoff a LEDon a z těchto hodnot počítat hodnotu výstupu). Ideálně vyhodnocujte signál tak, abyste potlačili externí osvětlení (například případný vliv umělého – zářivkového – osvětlení, frekvence rušení 100 Hz). +3 body



Obr. 4.9 Princip eliminace vlivu okolního osvětlení. V praxi může být šířka pulzu jen jednotky μs , perioda např. 10 kHz. (na obrázku znázorněna aplikace reflexního snímače pro sledování černé čáry...)