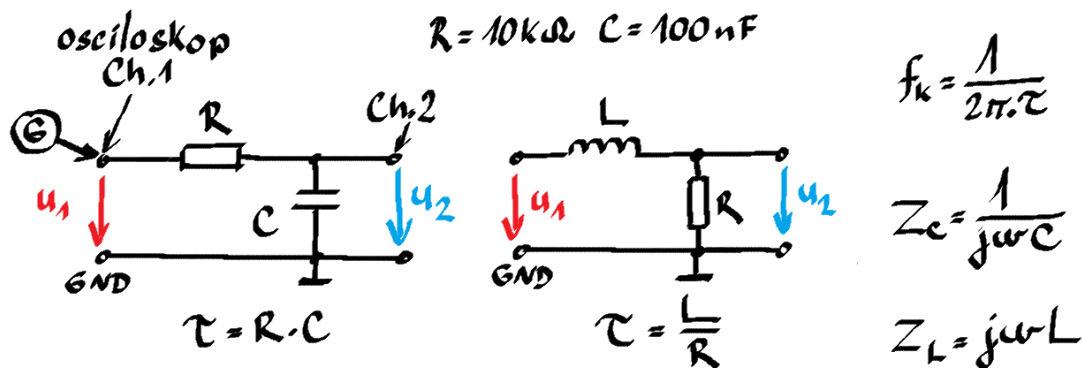


**Úkoly****2.1** RC – CR článek, zapojení, pozorování chování pro různé frekvence vstupního signálu**2.2** Změření diferenciálního odporu LED**2.1 RC – CR článek, zapojení, pozorování chování pro tři různé frekvence vstupního signálu (zakreslit, ověřit časovou konstantu)****a) Integrační článek – RC nebo LR, dolní propust**

Velmi jednoduché a velmi užitečné zapojení. Podle toho jaký signál je na vstupu a podle poměru mezi frekvencí vstupního signálu a kritickou frekvencí  $f_k$  dostaneme různý výstup. Je to vlastně frekvenčně závislý dělič, kondenzátor v prvním zapojení působí jako „zkrat“ pro vysoké frekvence, indukčnost ve druhém zapojení jako „rozpojeno“ (opět pro vysoké frekvence). Typická aplikace – odstranění vysokofrekvenčního rušení ze signálu, získání střední hodnoty signálu, jednoduchý anti-aliasingový filtr před ADC...



Obr. 2.1 Základní RC a LR zapojení

Častěji se používá zapojení s kondenzátorem, protože ty jsou typicky „ideální“ v širším rozsahu frekvencí, na rozdíl od cívek, u kterých frekvenční rozsah může omezit feromagnetický materiál jádra. Ale pozor, pro dostatečně vysokou frekvenci se každý kondenzátor začne chovat jako cívka (např. kvůli indukčnosti přívodů) a každá cívka jako kondenzátor (mezi-závitové kapacity, kapacita mezi přívodními vodiči...).

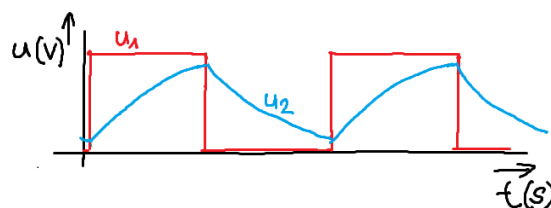
**Popis chování v časové doméně**

Vyzkoušíme, jak se bude zapojení chovat pro obdélníkový signál na vstupu se třemi různými frekvencemi:

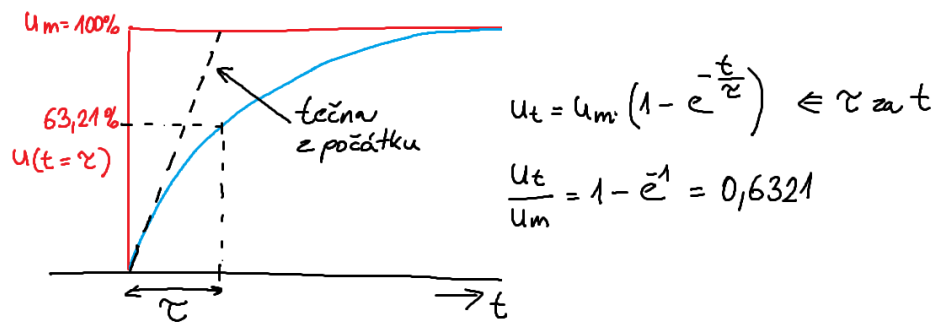
$$f_1 = 0.05 - 0.1 \cdot f_k$$

$$f_2 = f_k$$

$$f_3 = 10 - 20 \cdot f_k$$

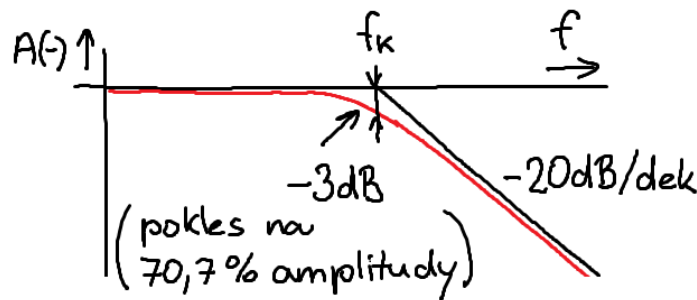
Obr. 2.2 RC s obdélníkovým signálem na vstupu, pro  $f = ? \cdot f_k$

Ověření časové konstanty – lze použít pro ověření nebo změření hodnoty C v obvodu, zjistíme, za jak dlouho dosáhne amplituda výstupního signálu hodnoty 63.2 % (v tomto případě je čas roven  $\tau$ ).



Obr. 2.3 Výstupem RC článku je exponenciála, v čase  $t = \tau$  její amplituda dosáhne 63.2 % amplitudy vstupního obdélníkového signálu – stejně se lze zaměřit i na pokles ve druhé části periody signálu.

**Popis chování ve frekvenční doméně** – jak se mění výstup v závislosti na vstupní frekvenci (myslí se pro sinusový vstup)



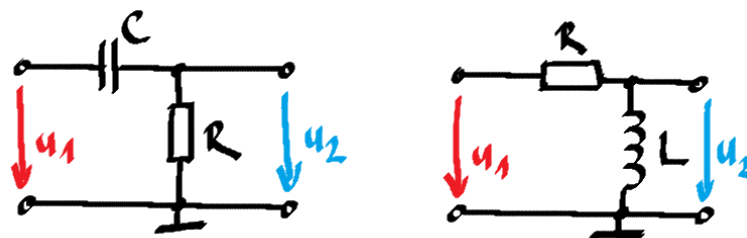
Obr. 2.4 Frekvenční charakteristika pasivní dolní propusti prvního řádu

$-20\text{dB/dek} \Rightarrow$  amplituda výstupu poklesne na desetinu při zvýšení frekvence desetkrát

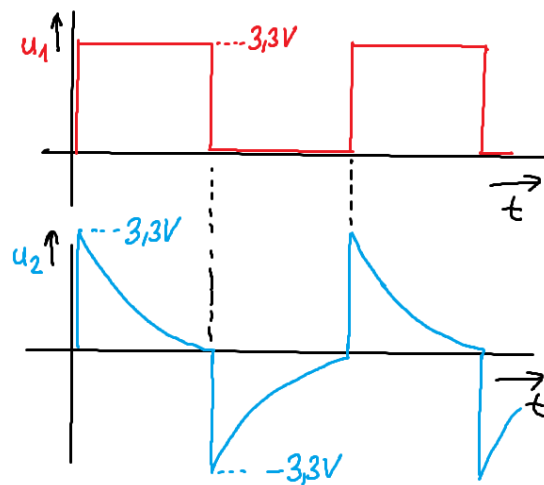
V rámci SDI přístroje s STM32G431 je díky vestavěnému DA převodníku k dispozici generátor sinusového průběhu a je tedy možné tento pokles ověřit. Pozor, je třeba, aby generovaná sinusovka měla stejnosměrný offset - např. 1.65V (aby šla generovat i měřit - DA a AD převodníkem s pracovním rozsahem 0-3.3V)

## b) Derivační článek – CR nebo RL

Prohozením komponent v děliči vznikne obvod, který propouští jen „změny“ v signálu, stejnosměrná složka signálu je potlačena. Použití? Např. detekce hran v signálu, střídavá vazba signálu v zesilovačích – odděluje bloky s různým stejnosměrným potenciálem

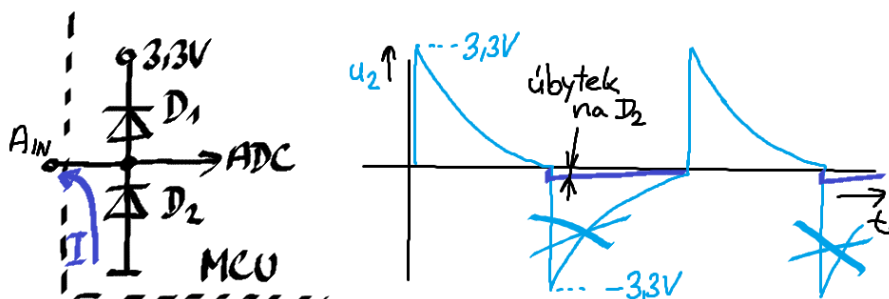


Obr. 2.5 Základní zapojení derivačního článku – NEpoužívat pro úkol 2.1, viz dále

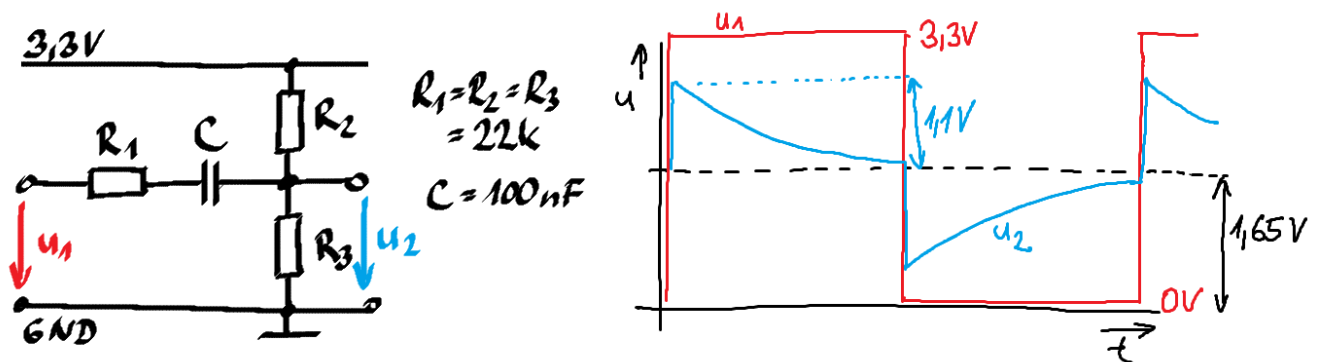


Obr. 2.6 Příklad signálů na vstupu a výstupu derivačního článku – pozor na zápornou úroveň napětí na výstupu

Základní zapojení z Obr. 2.5 je pro přímé sledování výstupu pomocí AD převodníku v MCU nevhodné – na výstupu se objevuje záporné napětí, které otevře ochrannou diodu  $D_2$ , čímž se „ořízne“ převážná část záporné amplitudy signálu. Viz Obr. 2.7. Analogově-digitální převodník v MCU je schopen správně změřit jen napětí v rozsahu  $0 - V_{DDA}$  ( $0 - 3.3V$ ).



Obr. 2.7 Vstupní ochranné diody chrání vstup mikrokontroléru před podpětím nebo přepětím, které je diodami odvedeno do napájení – při překročení max. proudu těmito diodami může dojít k trvalému poškození vstupu. Pokud nebude vhodně chráněna napájecí soustava (např. pomocí blokovacích kondenzátorů a prvků TVS – Transient Voltage Suppressor), může přenos přepětí ze vstupu do napájení způsobit další škody...



Obr. 2.8 Upravené zapojení derivačního článku pro měření v LPE a výsledný průběh

Při použití zapojení z Obr. 2.8 už budou napěťové úrovně v pořádku, amplituda derivační špičky bude snížena v poměru odporového děliče  $R_1 / (R_2 \parallel R_3)$ , ale výpočet časové konstanty bude trochu komplikovanější – zkuste odvodit (nápowěda – zdroj napájecího napětí bereme jako ideální s nulovým vnitřním odporem,  $\tau = f(R_1, R_2, R_3, C)$ ).

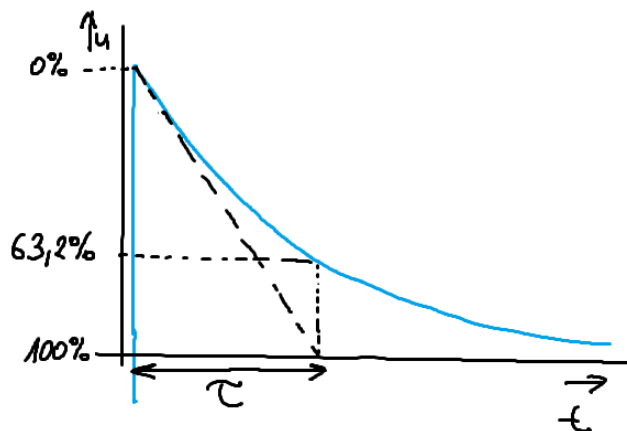
Opět vyzkoušejte, jak se bude zapojení chovat pro obdélníkový signál na vstupu se třemi různými frekvencemi:

$$f_1 = 0.05 - 0.1 * f_K$$

$$f_2 = f_K$$

$$f_3 = 10 - 20 * f_K$$

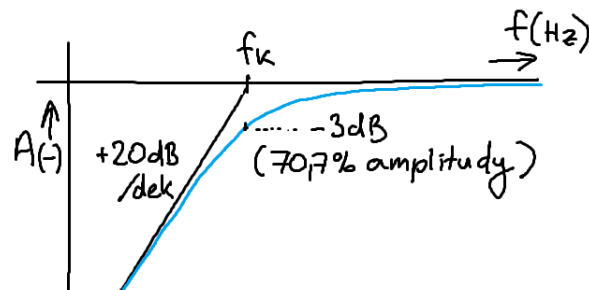
Časovou konstantu lze ověřit stejným způsobem jako u integračního článku – změna amplitudy na 63.2 % původní hodnoty, viz Obr. 2.9



Obr. 2.9 Určení časové konstanty u derivačního článku

**Popis chování ve frekvenční doméně** – jak se mění výstup v závislosti na vstupní frekvenci (myslí se pro sinusový vstup)

Jedná se o nejjednodušší flitr prvního řádu typu horní propust – utlumí kmitočty s frekvencí menší než  $f_K$ , propustí kmitočty vyšší.

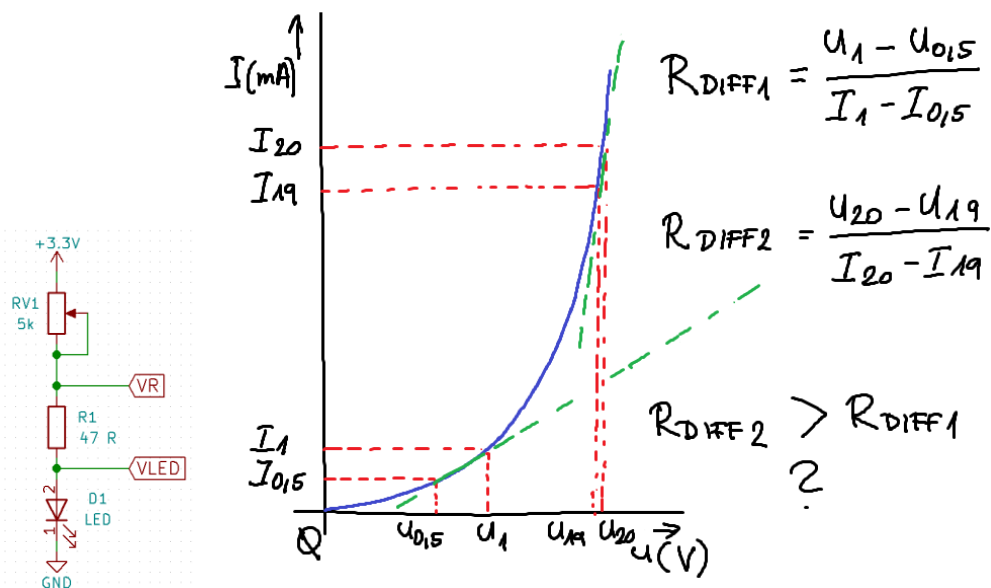


Obr. 2.10 Frekvenční charakteristika pasivní horní propusti prvního řádu

## 2.2 Změření diferenciálního odporu LED

Odpor - rezistor má typicky stejnou hodnotu rezistivity pro všechny hodnoty přiloženého napětí, pokud to tedy s napětím nepřezene a příliš ho ztrátovým výkonem neohřejeme – pak se může hodnota rezistivity změnit dle teplotního koeficientu dané součástky (např.  $\pm 50$  ppm/K).

U součástek nebo systémů s nelineárním průběhem volt-ampérové charakteristiky (např. polovodiče) toto neplatí, v různých bodech charakteristiky se mohou jevit jako různý odpor – směrnice tečny k voltampérové charakteristice v daném bodě. Použijte zapojení z Obr. 2.11 pro určení diferenciálního odporu LED ve dvou různých pracovních bodech – pro menší a větší hodnotu proudu.



Obr. 2.11 Zapojení a princip měření diferenciálního odporu LED

Sestavíme zapojení na nepájivém poli a buď pomocí ručního multimetru, nebo Softwarově-Definovaného-Instrumentu (SDI) Voltmetr měříme napětí  $V_{LED}$  a  $V_R$  pro zadané velikosti proudu ( $I = 0.5 - 1 - 19$  a  $20$  mA). Měřením  $V_{LED}$  určíme napětí na LED. Z rozdílu napětí  $V_{LED}$  a  $V_R$  lze určit protékající proud, díky známé hodnotě  $R_1$ . Pro nastavení většího proudu je vhodné použít odporový trimr s menší hodnotou rezistivity (např.  $220 - 470 \Omega$ ) pokud je k dispozici.

K čemu je to dobré?

Měření? Procvičíte si měření proudu a napětí...

Znalost diferenciálního odporu nelineárních prvků? Představte si, že byste potřebovali zdroj napětí např.  $1.8$  V a chtěli ho ve Vašem zapojení realizovat co nejjednodušeji. Přičemž byste chtěli, aby se velikost tohoto napětí  $1.8$  V se zatížením proudem třeba  $0-5$  mA neměnila o více než  $50$  mV.

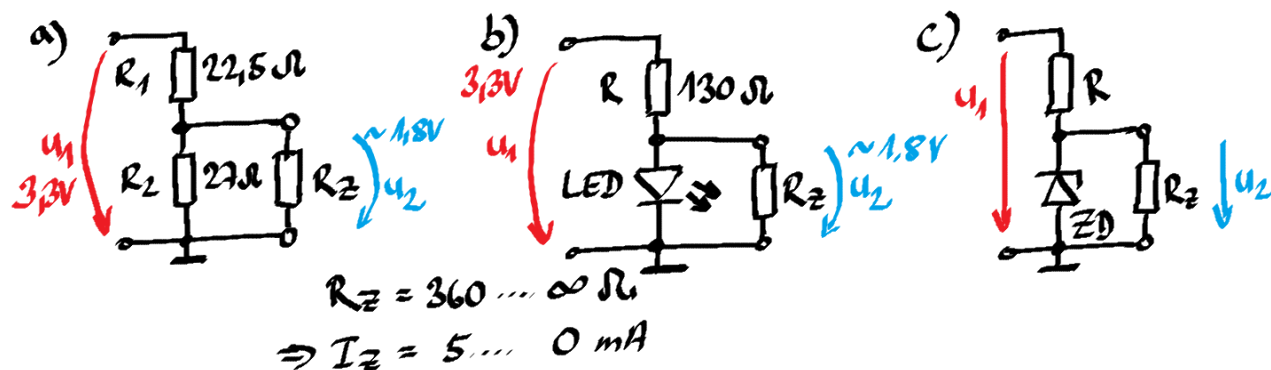
Nabídneme dvě řešení:

- odporový dělič – použijeme dva rezistory připojené na zdroj  $3.3$  V,  $R_1 = 22.5 \Omega$  a  $R_2 = 27 \Omega$ . Úkol téměř splněn – naprázdno napětí  $1.8$  V, při zatížení rezistorem  $360 \Omega$  (proud  $4.84$  mA) poklesne napětí na výstupu na  $1.74$  V. Na rezistorech  $R_1$  a  $R_2$  bude bez zatížení ztrátový výkon celkem  $220$  mW.

b) použijeme červenou LED napájenou ze zdroje 3.3 V přes rezistor  $R = 130 \Omega$ . Naprázdno bude výstupní napětí 1.8\* V, při zatížení proudem 5 mA pak 1.769\* V. Výkon ztracený naprázdno na R a LED bude 38 mW. \*záleží na konkrétní použité LED (průběhu její volt-ampérové charakteristiky).

Druhá varianta nabízí výrazně menší změnu napětí při téměř 6x menší spotřebě.

Toto je základ pro paralelní stabilizátory napětí se Zenerovými diodami (běžně dostupné s pracovním napětím cca 2-200V). Viz Obr. 2.12c



Obr. 2.12 Různé možnosti jak vytvořit jednoduchý zdroj napětí