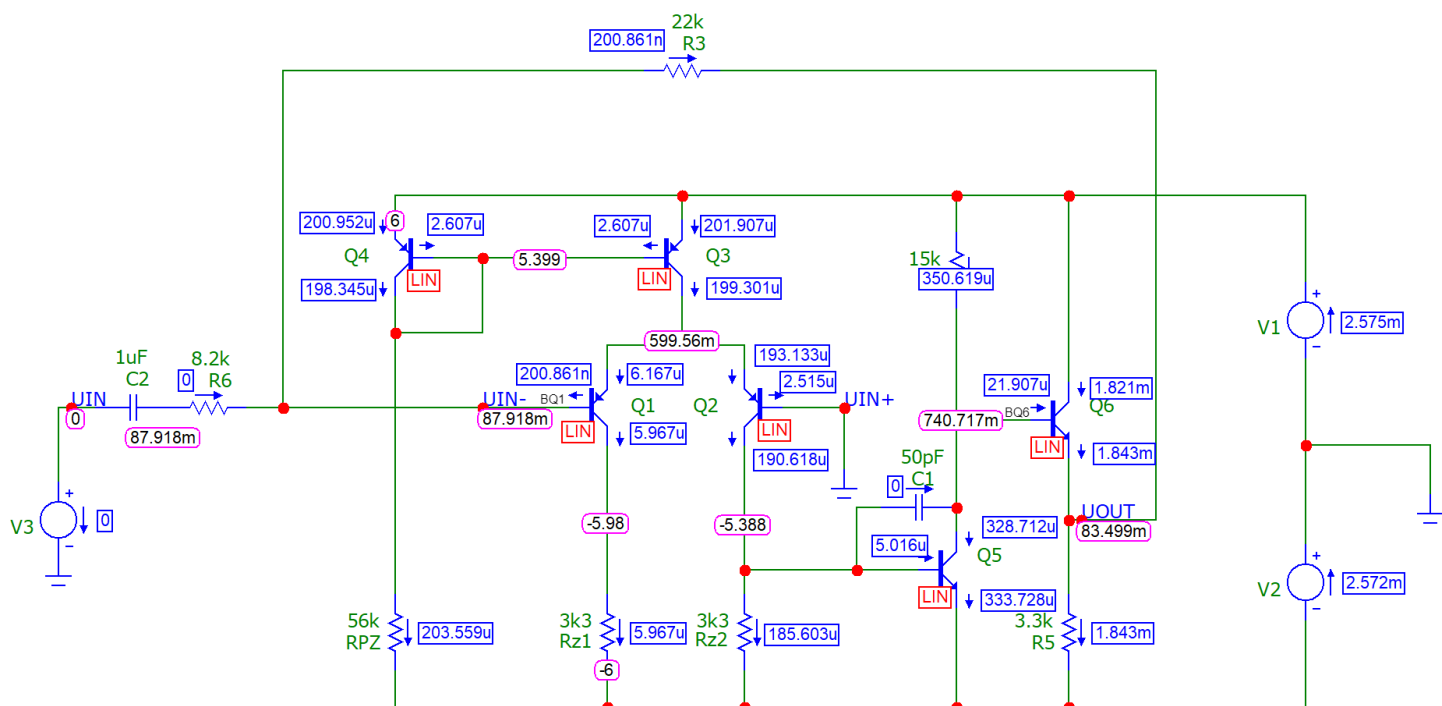


# Operační zesilovač



obr 1: Schema zapojení bez poruchy s vyznačenými proudy a napětími

porucha	$U_{CQ3}[V]$	$U_{BQ6}[V]$	$U_{out}[V]$	$U_{BQ1}[V]$	$U_{RZ1}[V]$	$U_{RZ2}[V]$
0	0.58	0.81	0.172	0.049	-5.32	-4.78
1	0.58	0.81	0.174	0.049	-5.38	-4.76
2	0.58	5.34	4.69	1.28	-5.38	-5.37
3	-0.73	-4.73	-4.84	-1.31	-4.64	-4.74
4	0.58	0.801	0.176	0.049	-5.3	-4.76
5	0.578	-1.03	0.208	0.056	-5.34	-4.78
6	0.468	-0.355	-0.425	-0.112	-4.73	-5.38
7	0.577	0.173	0.173	0.053	-5.34	-4.79

Table 1: pracovní bod pro zapojení

## Zesilovač bez poruchy

Vzniklý zesilovač má zesílením zhruba  $-2.7$ , což je vidět na simulovaném průběhu bez poruch obr. 2. Při reálném měření dosahoval zesilovač výrazně menšího zesílení než v simulaci.

## porucha 1

Při zkratu na  $R_{Z1}$  se simulovaný ani měřený průběh ve srovnání s bezporuchového stavu (viz obr. 2) téměř nemění. Proud bázi  $Q_1$  je stále stejný a tím pádem i proud kolektorem  $Q_1$  se téměř nemění. Napětí mezi emitorem a kolektorem  $Q_1$ , však nepatrně stoupl a na tranzistoru je tím pádem rozptylován nepatrně vyšší výkon. Tranzistor by tak pravděpodobně měl o něco nižší životnost. Jen při měření napětí na kolektoru  $Q_1$  je vidět nevelká změna podle simulace  $36[mV]$ .

## porucha 2

Zkrat na  $R_{Z2}$  se projeví mnohem výrazněji protože na kolektor  $Q_2$  je napojen další stupeň zesilovače. Při zkratu na  $R_{Z2}$  dojde zároveň ke zkratu báze emitor tranzistoru  $Q_5$  který je tak trvale zavřený. Zavřený  $Q_5$  znamená že tranzistor  $Q_6$  bude naopak plně otevřen a na výstupu tak bude téměř napájecí napětí. Tato porucha se tedy projeví trvalou saturací výstupu, což potvrzuje simulaci viz obr. 3. Při reálném měření jsem však pravděpodobně měl na výstupu zapnutou AC vazbu místo DC a výstup je tak trvale na nule.

## porucha 3

Zkrat mezi bázi a kolektorem  $Q_5$  znamená že kolektor  $Q_2$  připojen přímo na výstupní stupeň zesilovače. Ztráta zesilovacího stupně, který obrací fázi má za následek dvě věci. Za prvé zesilovač přijde své zesílení a za druhé přestává obracet fázi. Zároveň se posune napětí na bázi  $Q_6$  směrem k zápornému napájení což má za následek i posun výstupního napětí směrem k záporné saturaci. To proto protože i při maximálním proudu který může téct přes  $R_{Z2}$  je napětí na něm stále blízké zápornému napájecímu napětí. Tomu odpovídá jak simulace, tak reálné měření viz obr. 4.

## porucha 4

Při simulaci studeného spoje na  $C_1$  byl výsledkem stejný průběh jako při simulaci obvodu bez poruchy. Při reálné měření se však výstup zesilovače silně rozkmital viz obr. 5. Kondenzátor  $C_1$  totiž tlumil rezonance mezi parazitními prvky obvodu, které se při jeho odpojení naplno projeví.

## porucha 5

Při rozpojení na  $R_5$  zesilovač ztrácí možnost výstup stáhnout směrem k záporné saturaci. Tranzistor  $Q_6$  schopen výstupní napětí jen zvýšit a nikoliv snížit. Kladná půlplna se tak přenesla na vstupu skrz rezistory zpětné vazby  $R_3$ ,  $R_6$  a oddělovací kondenzátor  $C_2$ . Záporná půlplna se nejprve dostane na výstup čímž vytvoří dostatečné napětí mezi bázi a emitorem  $Q_6$  aby se tranzistor začal otevírat. V tu chvíli začne zesilovač obracet fázi. Při této změně chvíli trvá, než se vlivem zpětné vazby dostane dostatečné napětí až na bázi  $Q_6$ , v tu chvíli se na výstupním objeví krátký zákmit a zesílení ještě lehce vzroste. Při další kladné půlplně opět chvíli trvá než napětí na bázi  $Q_6$  klesne do saturační hodnoty a výstupní napětí tak okamžik jen lineárně roste, což je vidět na simulovaném průběhu obr. 6. Reálné měření se odlišuje od simulace, a vypadá jako by rozpojení nebylo úplné viz obr. 7.

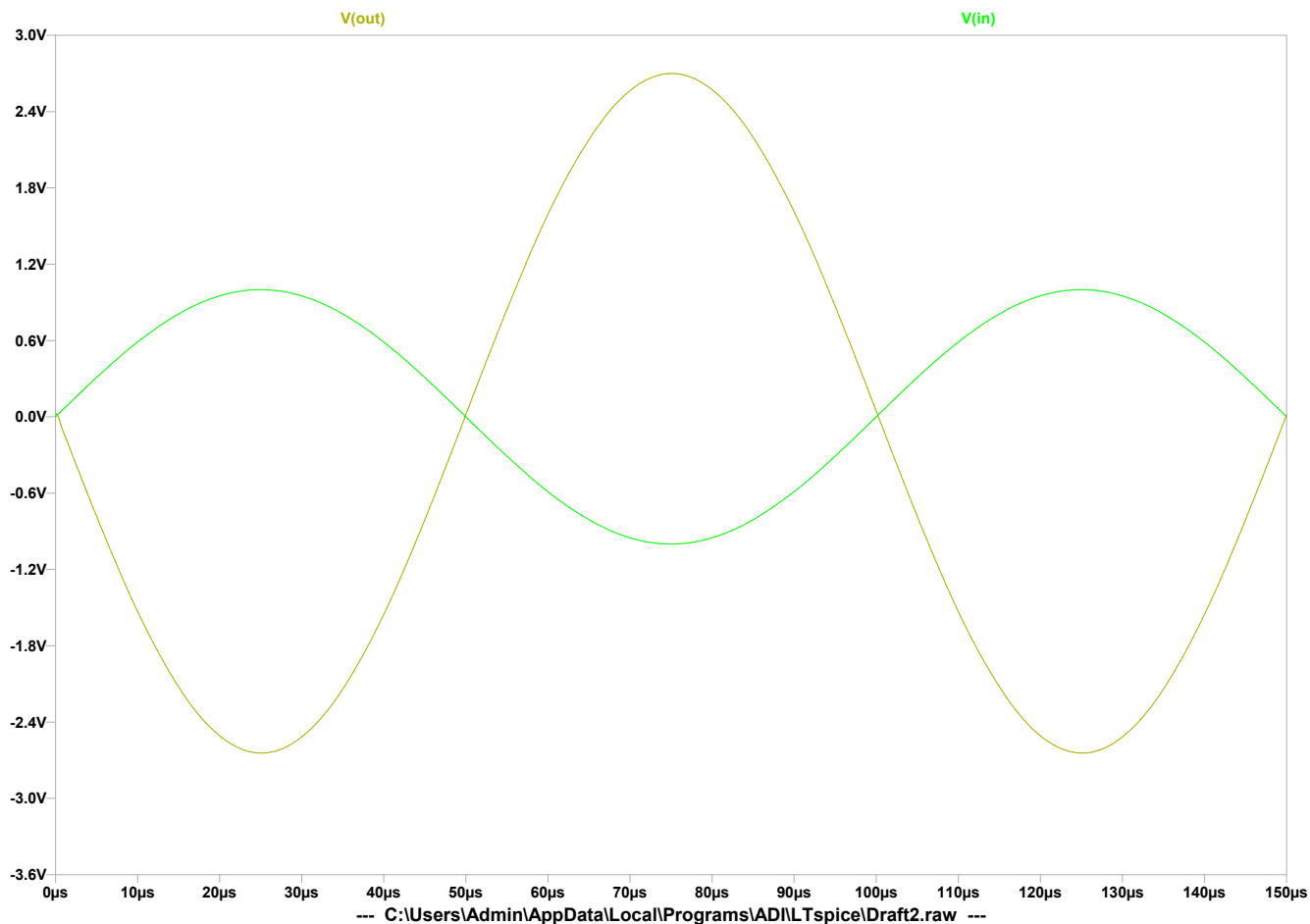
## porucha 6

Při zkratu mezi bázi a emitorem  $Q_6$  zesilovač přišel o výstupní zesilovací stupeň se společným kolektorem který má nízkým výstupním odporem. Jako výstup tedy slouží zesilovač se společným emitorem který má velký výstupní odpor. Při zatížení výstupu rezistorem  $R_5$  tak začne napětí výstupu znatelně klesat směrem k záporné saturaci. Za prvé se tedy výrazně sníží zesílení a za druhé se střední hodnota výstupního napětí posune směrem k záporné saturaci viz obr. 9.

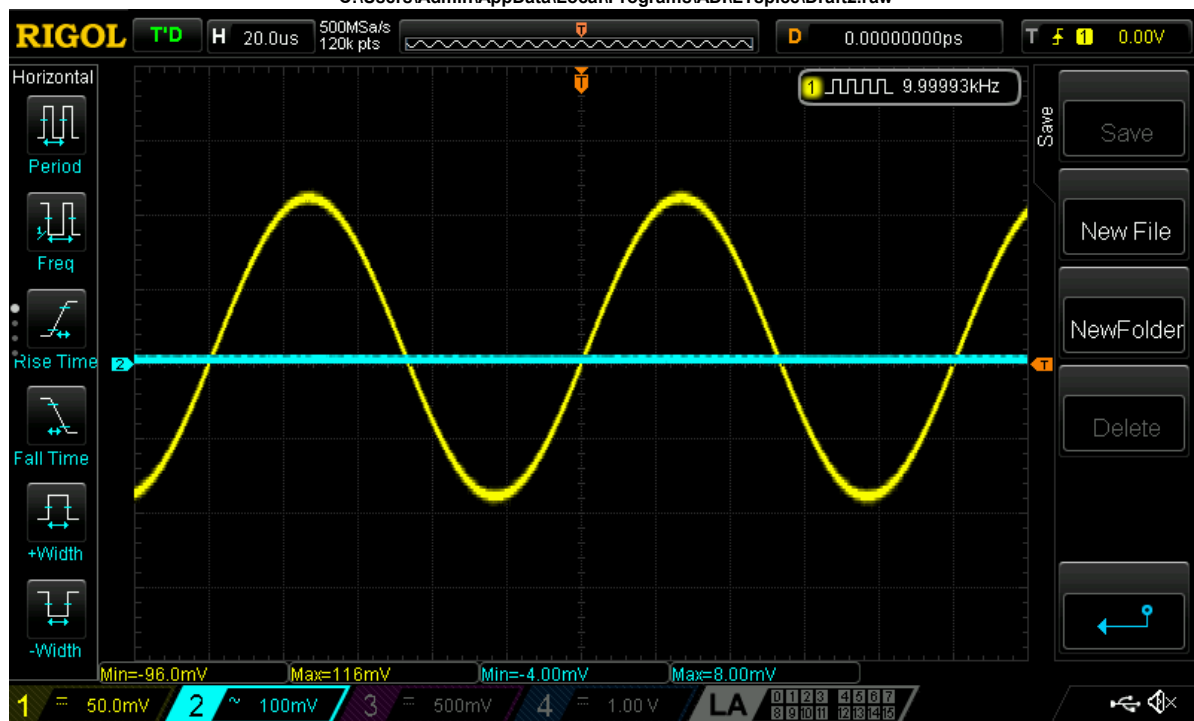
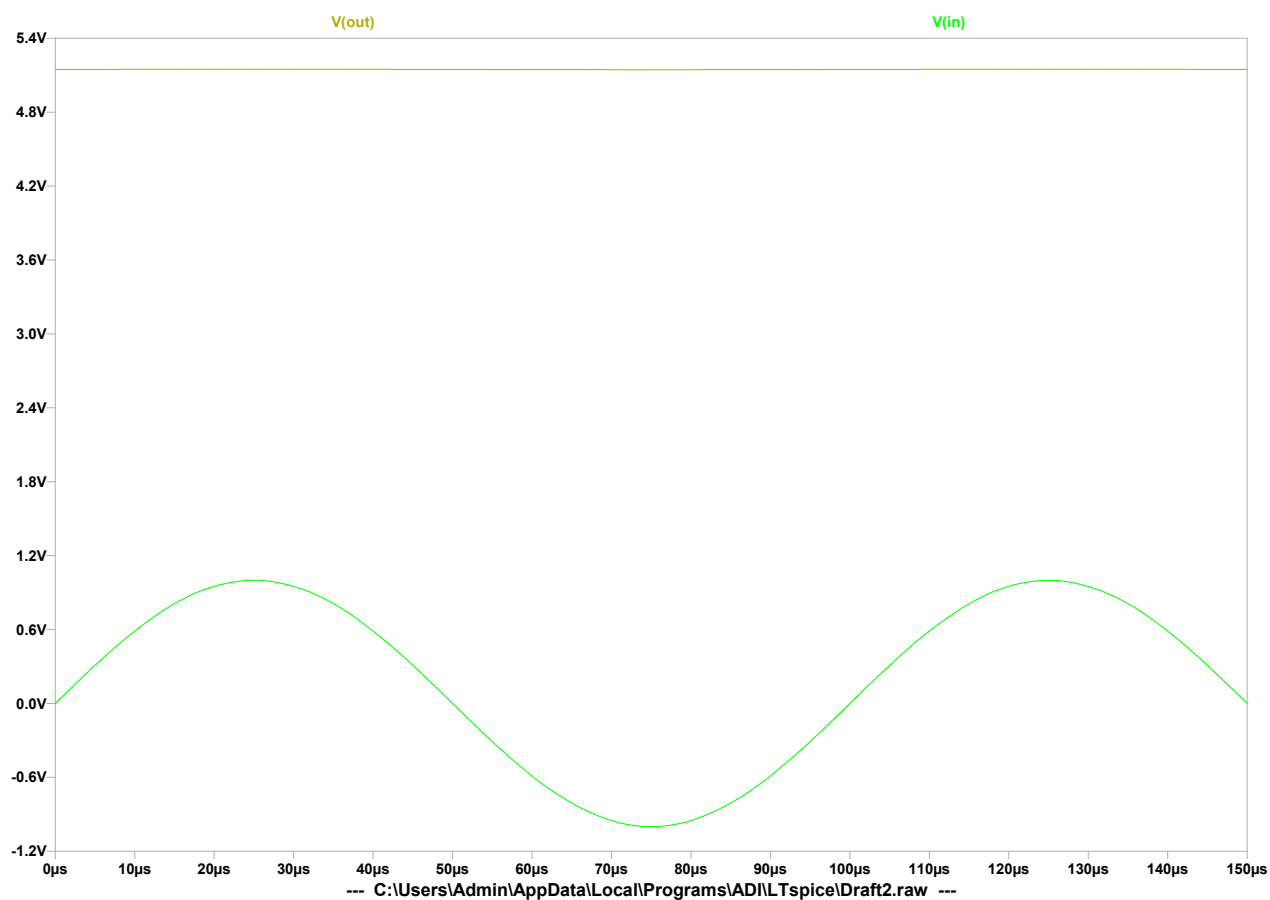
## porucha 7

Stejně jako u porucha 6 zesilovač přišel o výstup s nízkým odporem. Tentokrát ale není odporem  $R_5$  tažen k záporné saturaci a výstup tak není posunutý a i zesílení je více méně bez změny. Kvůli chybějícímu výstupnímu stupni se zesílením lehce menším než 1 je zesílení dokonce trochu vyšší než v bezporuchovém stavu. Zesilovač s takovouto poruchou by však trpěl i při malém zatížení ztrátou zesílení a případně stejnosměrným posunem, ten závisí na zapojení zátěže. Např. při zátěži mezi výstupem a záporným napájecím napětím bychom dostali průběh poruchy 6.

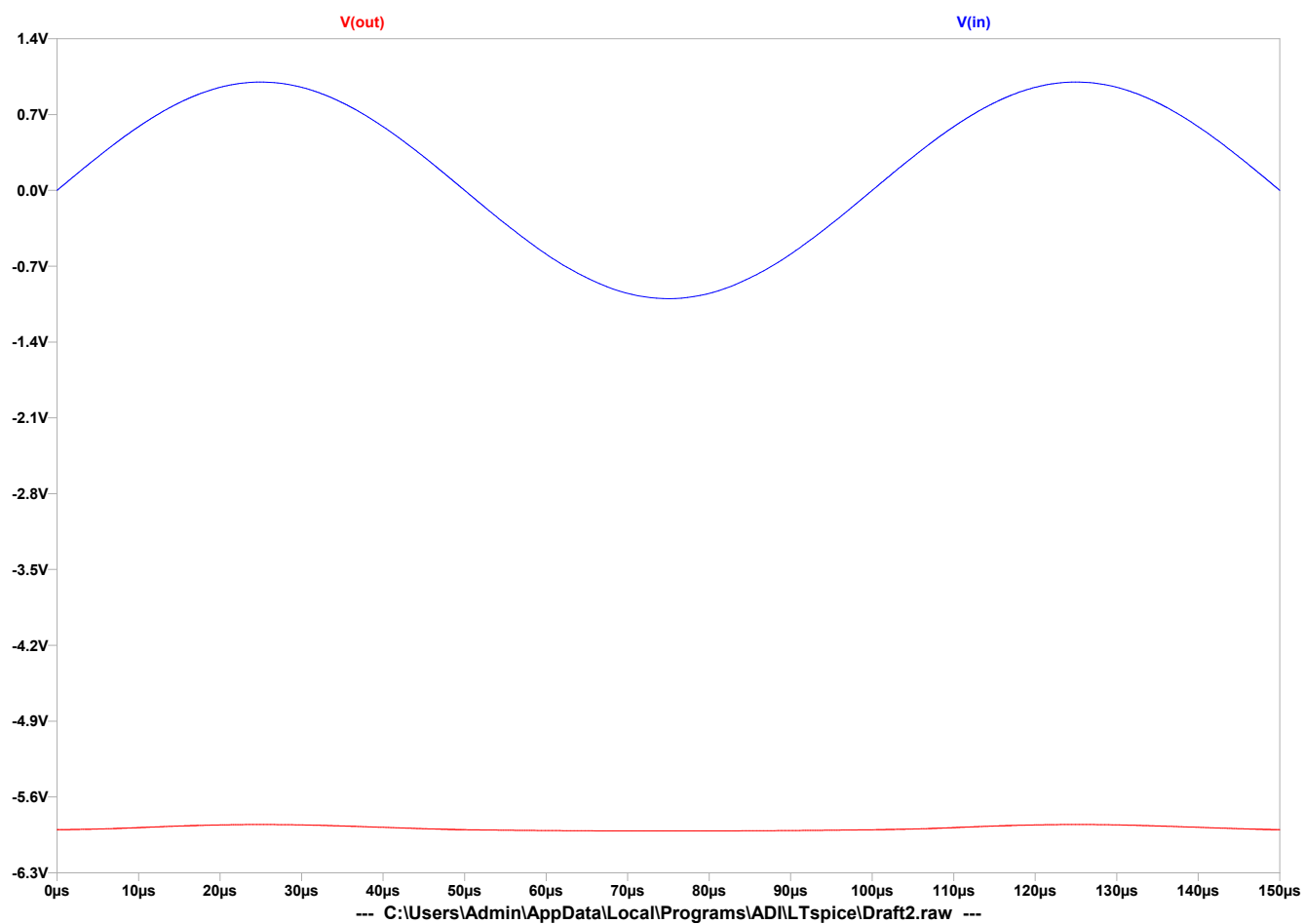
## Časové průběhy poruch



obr 2: Simulace zapojení bez poruchy



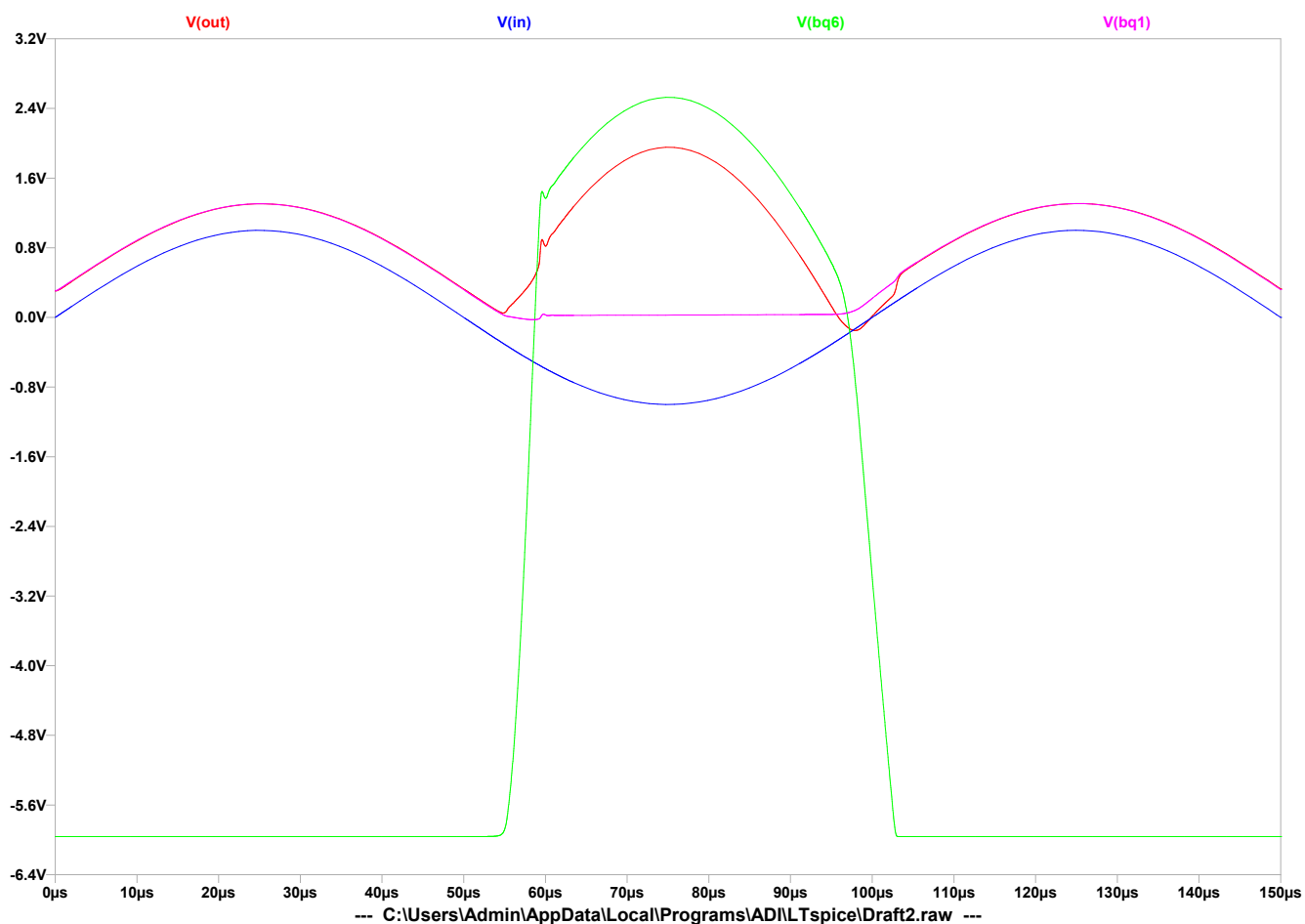
obr 3: Simulace a měření zkratu na odporu  $R_{Z2}$



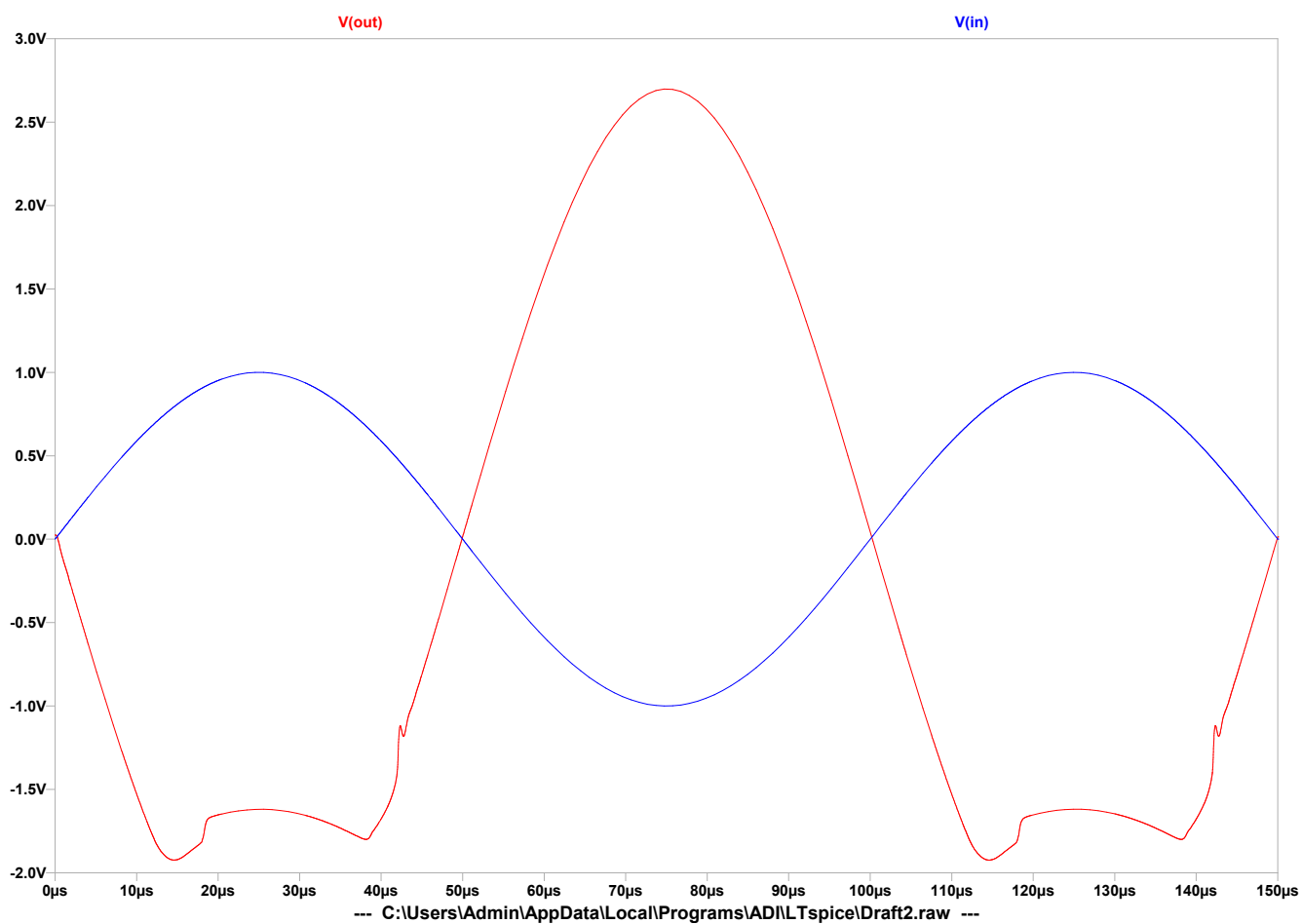
obr 4: Simulace zkratu báze kolektor  $Q_5$



obr 5: Měření rozpojení na  $C_1$

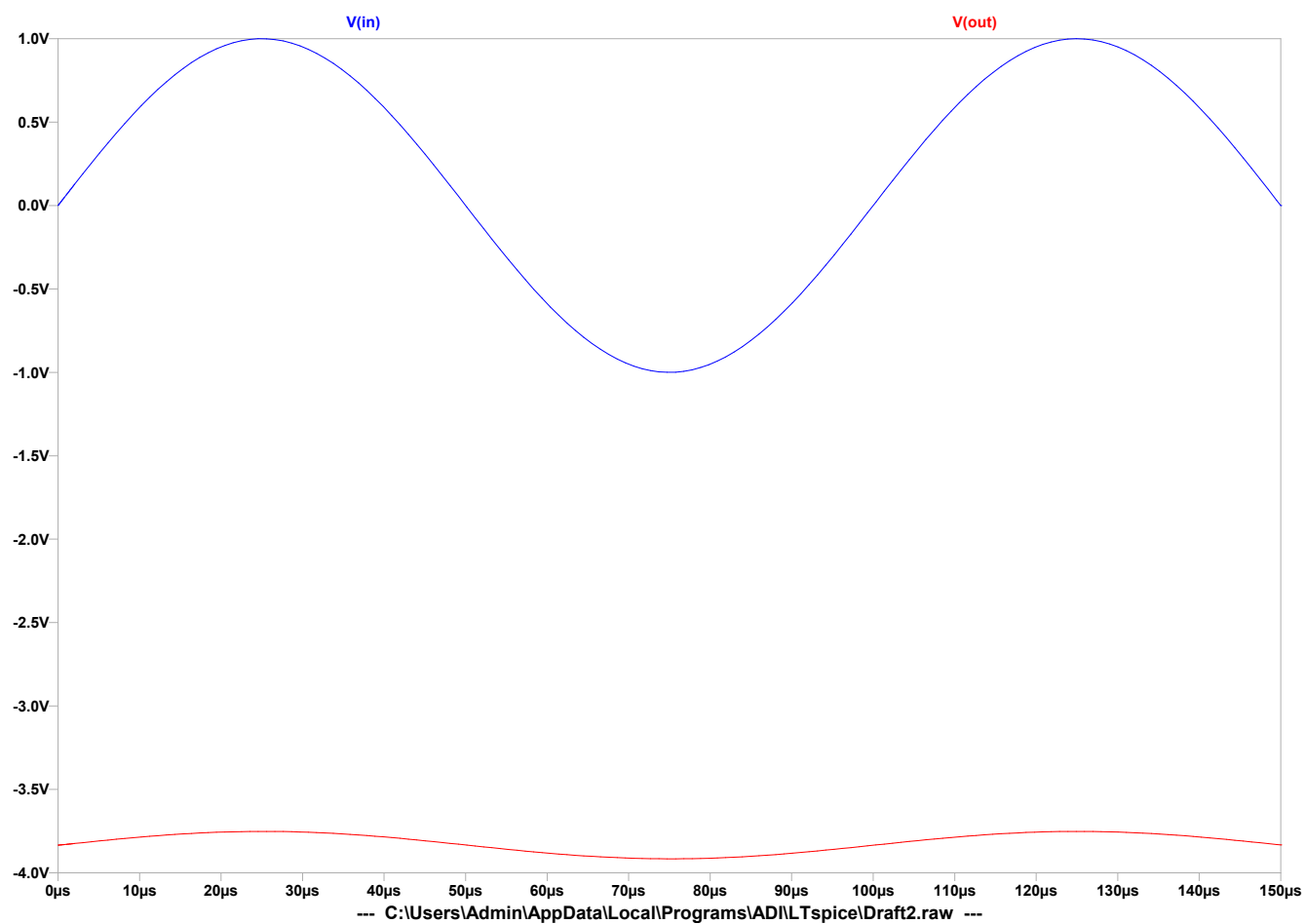


obr 6: Simulace a měření rozpojení na  $R_5$

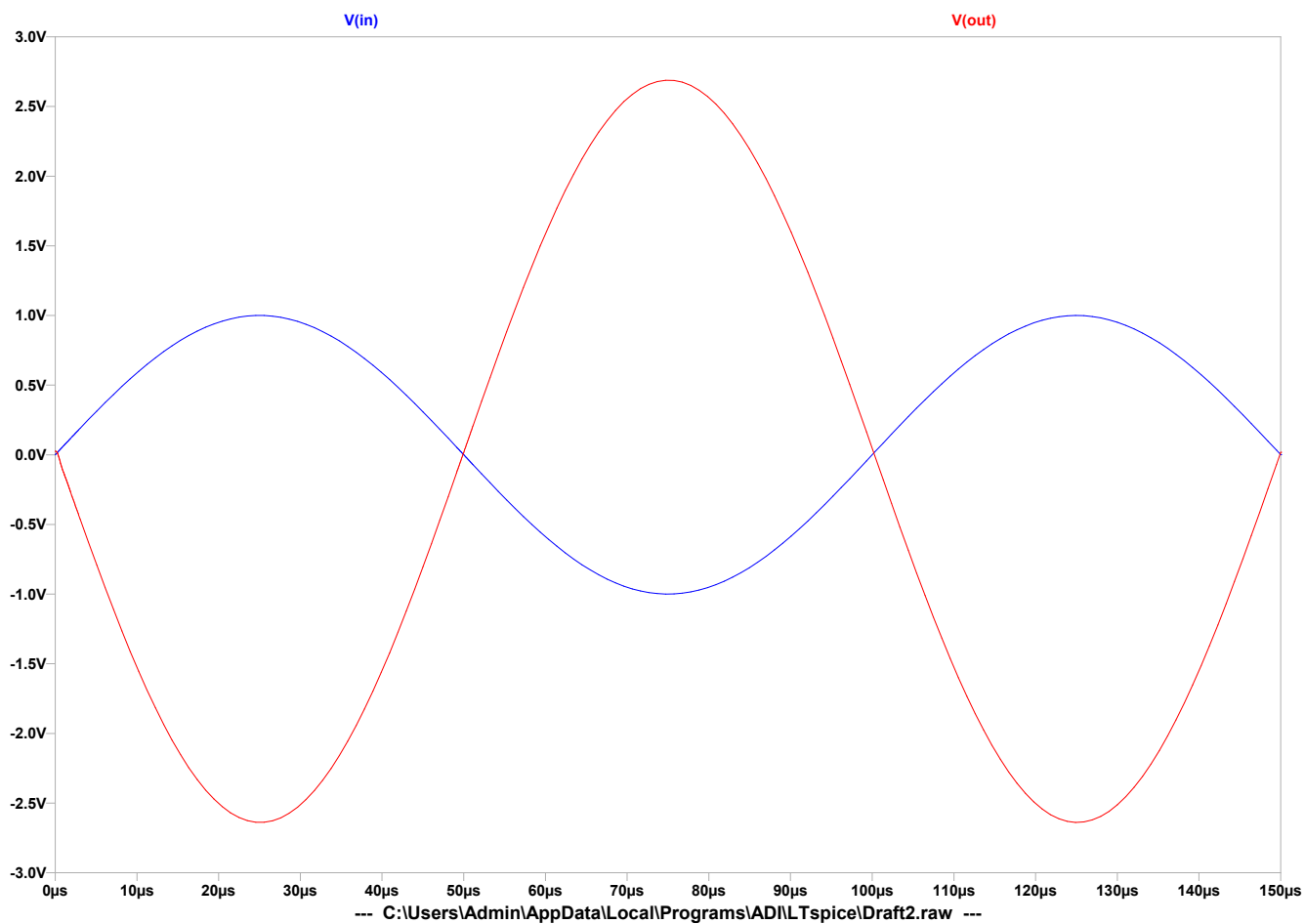


obr 7: Simulace neúplného rozpojení,  $R_5 = 50k$





obr 8: Simulace zkratu mezi bází a emitorem  $Q_6$



obr 9: Simulace zkratu mezi bází a emitorem  $Q_6$  a rozpojení na  $R_5$