

Příloha

Obsah přílohy

A. Návrh a realizace prvků CDTA a CCTA

A1. Konvektor CCIII+ na principu proudových zrcadel - vstupní blok CCTA

A1a. Schéma obvodu CCIII_mirr z prostředí Cadence	P3
A1b. Layout realizovaného CCIII_mirr v CMOS07	P4
A1c. Simulační schéma pro obvod CCIII_mirr - buzení proudem I_X	P5
A1d. Typické simulace CCIII_mirr – buzení proudem I_X	P6
A1e. Charakterizace (Corner analýza) předchozích simulací - buzení proudem I_X	P7
A1f. Výpis „Matching analýzy“ pro výstupní ofset na svorce Z	P8
A1g. Simulační schéma pro obvod CCIII_mirr – buzení napětím V_Y	P9
A1h. Typické simulace CCIII_mirr - buzení napětím V_Y	P10
A1i. Charakterizace simulací CCIII_mirr - buzení napětím V_Y	P11
A1j. Popis uvedených simulací obvodu CCIII_mirr	P12

A2. Konvektor CCIII+ na principu operačního zesilovače

A2a. Schéma obvodu CCIII_opa z prostředí Cadence	P13
A2b. Layout realizovaného CCIII_opa v CMOS07	P14

A3. Proudový diferenční stupeň (vstupní blok CDTA) založený na principu proudových zrcadel

A3a. Schéma obvodu IDIFF_mirr z prostředí Cadence	P15
A3b. Layout obvodu IDIFF_mirr v CMOS07	P16

A4. Proudový diferenční stupeň založený na principu operačního zesilovače

A4a. Schéma obvodu IDIFF_opa z prostředí Cadence	P17
A4b. Layout obvodu IDIFF_opa v CMOS07	P18

A5. Transkonduktanční výstupní stupeň s pevným g_m

A5a. Schéma transkonduktančního stupně GM_FIX z prostředí Cadence	P19
A5b. Layout realizovaného GM_FIX v CMOS07	P20
A5c. Simulační schéma pro určení výstupní impedance – střídavá simulace	P21
A5d. Typická střídavá (AC) simulace výstupní impedance	P22

A6. CDTA_opa

A6a. Schéma obvodu CDTA_opa z prostředí Cadence	P23
A6b. DC simulace přenosu proudu a system. ofsetu CDTA – typ. podmínky	P24

A6c. Charakterizace střídavé simulace proudového přenosu CDTA_opa	P25
A6d. Výpis fázové a amplitudové bezpečnosti CDTA (stabilita)	P26
A7. Realizovaný funkční vzorek CCTA a CDTA v AMIS CMOS07	
A7a. Kompletní „TOP“ schéma včetně ESD ochran	P27
A7b. Toplayout	P28
A7c. Schéma zapojení čipu v pouzdře (Bonding diagram)	P29
A8. Přesný CCII+ pro měřicí účely	
A8a. Schéma a layout přesného konveju CCII+	P30

B. Behaviorální modelování realizovaných bloků

Uvedená schémata, knihovny a simulační profily jsou součástí přiloženého CD.

B1. Schémata vnitřních zapojení behaviorálních modelů

B1a. Vnitřní zapojení modelu CCTA_mirr	P31
B1b. Vnitřní zapojení modelu CCTA_opa	P31
B1c. Vnitřní zapojení modelu CDTA_mirr	P32
B1d. Vnitřní zapojení modelu CDTA_opa	P32
B1e. Vnitřní zapojení modelu CCII+_mirr	P33
B1f. Vnitřní zapojení modelu CCII+_opa	P33

B2. Textový výpis knihovny CXTA.lib pro OrCAD Pspice

P34

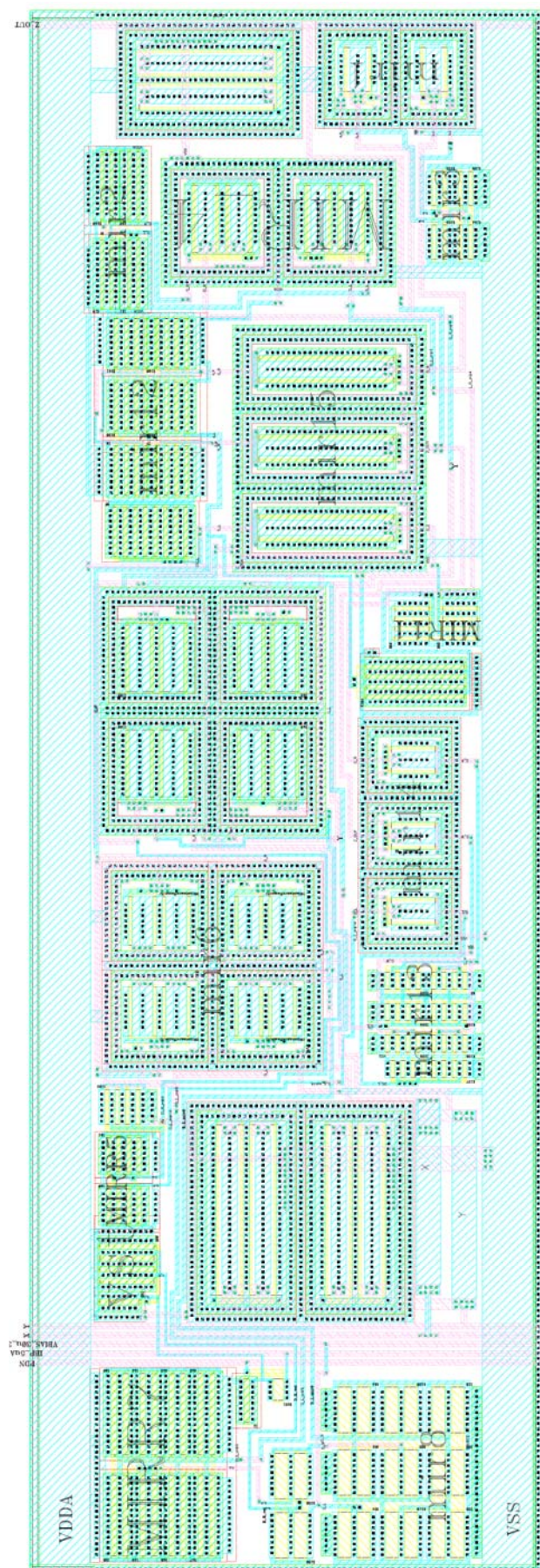
B3. Vzorové simulační profily pro OrCAD PSpice

B3a. Schéma: sim_CCTA_mirr_dc, simulační profil: CCTA_mirr_dc	P37
B3b. Schéma: sim_CCTA_mirr_ac3dB, simulační profil: CCTA_3dB	P39
B3c. Schéma: sim_CCTA_mirr_acloop, simulační profil: CCTA_olooop	P40
B3d. Schéma: sim_CCTA_opa_probe, simulační profil: CCTA_prober	P41
B3e. Schéma: sim_CDTA_opa_COAdc, simulační profil: CDTA_COAdc	P42
B3f. Schéma: sim_CDTA_opa_COAac, simulační profil: CDTA_COAac	P43
B3g. Schéma: sim_CC+_opa_tunGM, simulační profil: CCII+_GM	P44
B3h. Schéma: sim_CCII+opa_Xinv, simulační profil: CCII+_sL	P45

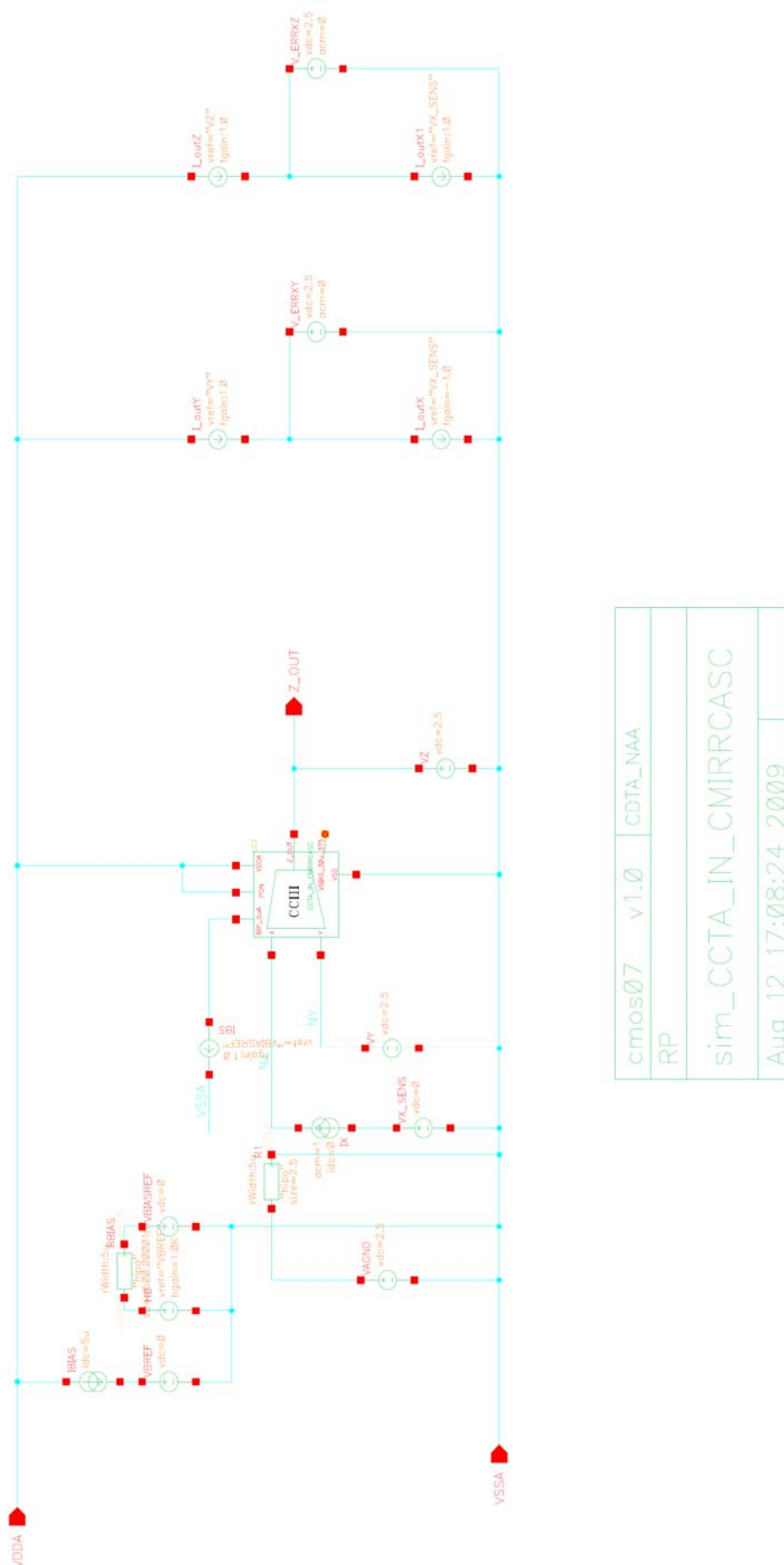
C. Měření realizovaných vzorků

C1. Fotografie a popis měřicí desky	P46
C2. Schéma zapojení měřicí desky	P47

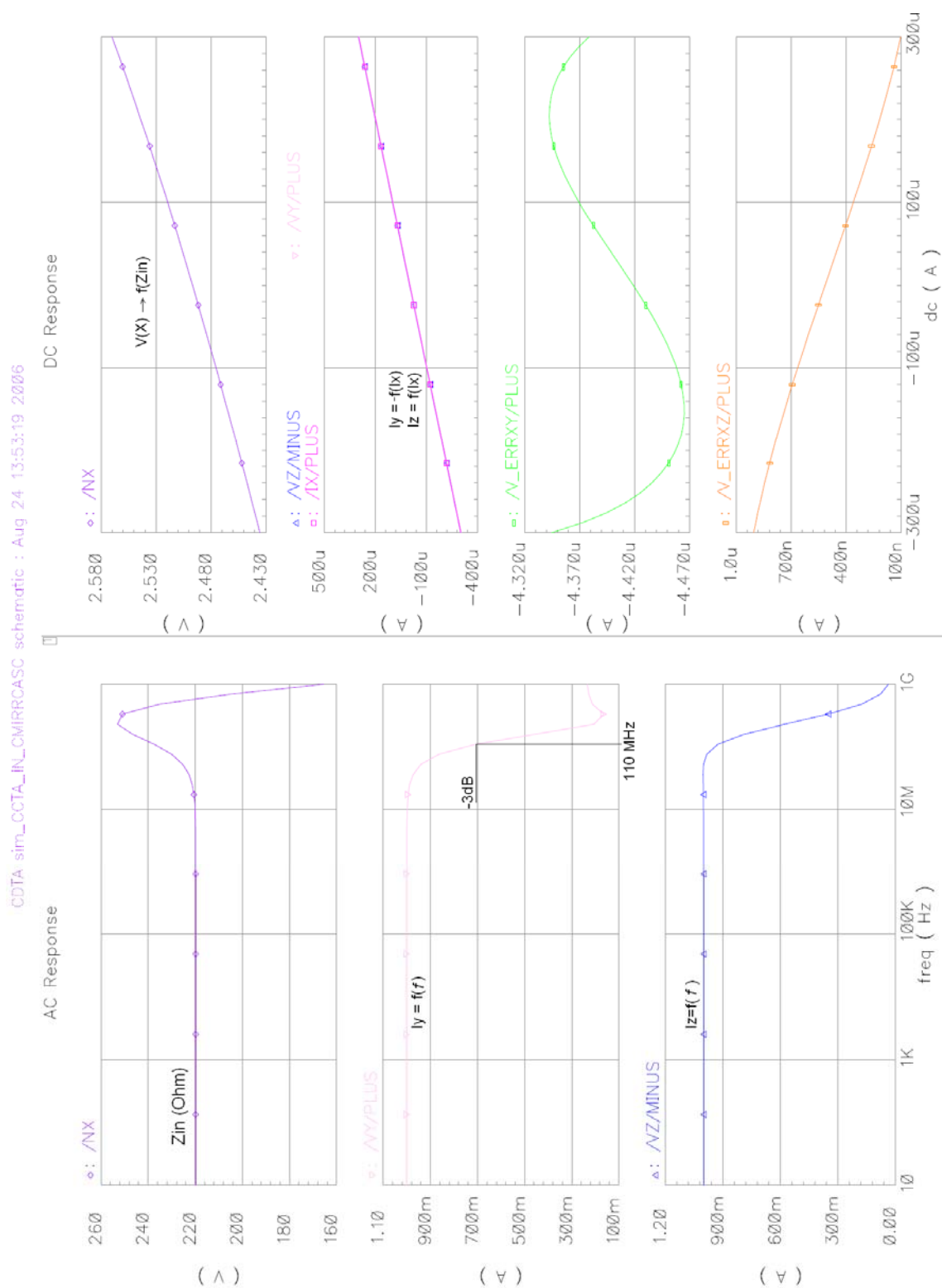
A1b. Layout realizovaného CCIII_mirr v CMOS07



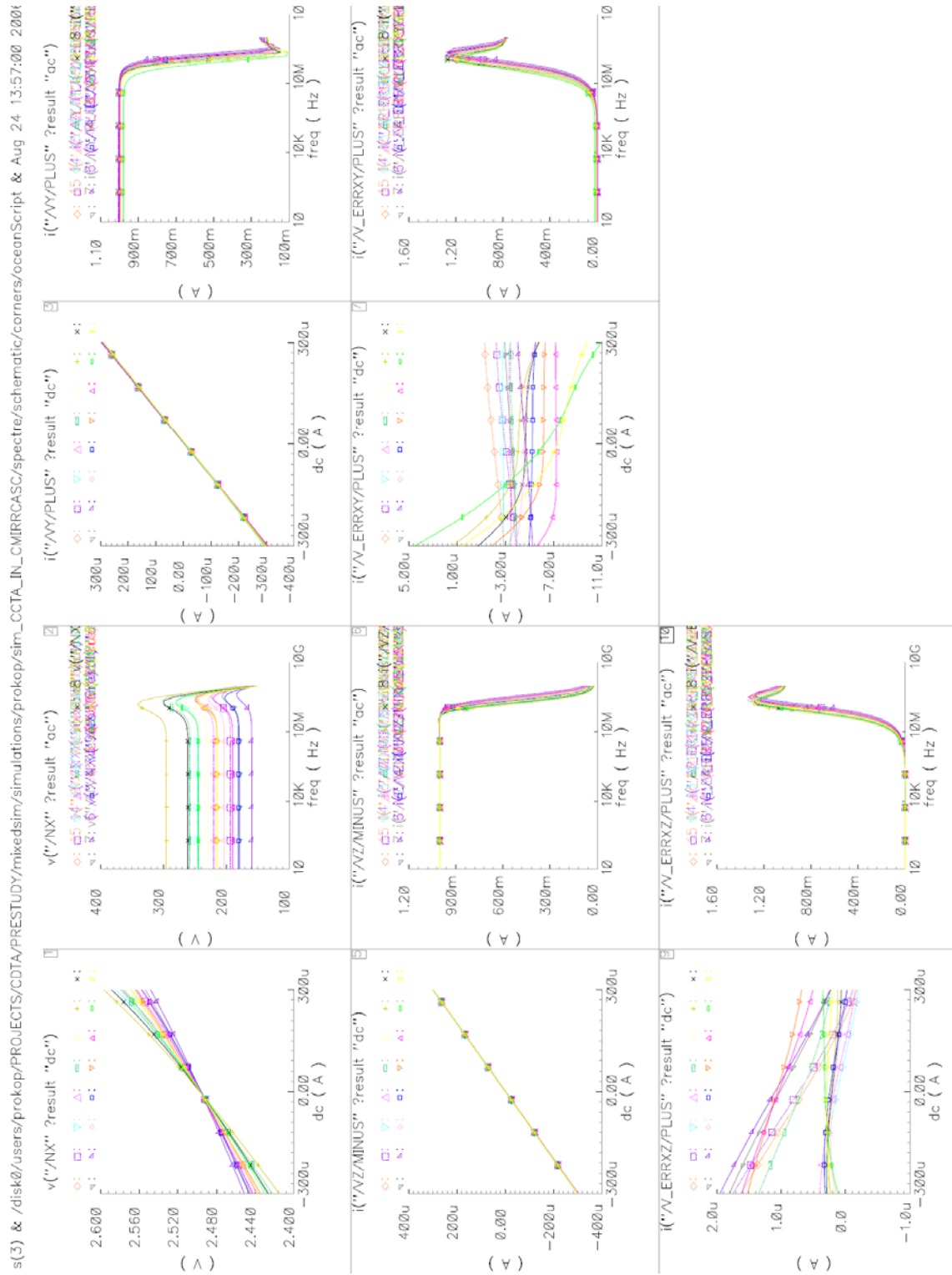
A1c. Simulační schéma pro obvod CCIII_mirr - buzení proudem I_X



A1d. Typické simulace CCIII_mirr – buzení proudem I_X



A1e. Charakterizace (Corner analýza) předchozích simulací - buzení proudem I_X



A1f. Výpis „Matching analýzy“ pro výstupní ofset na svorce Z

RESULTS OF THE MATCHING TOOL

Design: sim_CCTA_IN_CMIRRCASC of CDTA library in the VZ:p net

Offset calculated using info from schematic

Note: sigma_vt is spread of vt of 1 transistor

Note: sigma_beta is spread of beta of 1 transistor

Note: offset_vt is output offset caused by vt mismatch of 1 transistor

or: offset_vt=sigma_vt*sensitivity_vt

Note: offset_beta is output offset caused by beta mismatch of 1 transistor

or: offset_beta=sigma_beta*sensitivity_beta

CC3.M21: offset_vt=5.32887 uA offset_beta=1.10872 uA sigma_vt=0.00410895 V sigma_beta=0.451067 %
CC3.M20: offset_vt=5.27822 uA offset_beta=1.09845 uA sigma_vt=0.00410895 V sigma_beta=0.451067 %
CC3.M22: offset_vt=5.0296 uA offset_beta=1.99917 uA sigma_vt=0.00434936 V sigma_beta=0.811021 %
CC3.M19: offset_vt=5.00856 uA offset_beta=1.99083 uA sigma_vt=0.00434936 V sigma_beta=0.811021 %
CC3.M45: offset_vt=0.112953 uA offset_beta=0.0239687 uA sigma_vt=0.00410895 V sigma_beta=0.451067 %
CC3.M46: offset_vt=0.103172 uA offset_beta=0.0441175 uA sigma_vt=0.00434936 V sigma_beta=0.811021 %
CC3.M43: offset_vt=0.101454 uA offset_beta=0.0432764 uA sigma_vt=0.00434936 V sigma_beta=0.811021 %
CC3.M39: offset_vt=0.0799793 uA offset_beta=0.0157447 uA sigma_vt=0.00631119 V sigma_beta=0.653816 %
CC3.M47: offset_vt=0.0780426 uA offset_beta=0.0163188 uA sigma_vt=0.00631119 V sigma_beta=0.653816 %
CC3.M34: offset_vt=0.0635366 uA offset_beta=0.0203917 uA sigma_vt=0.0116986 V sigma_beta=1.75382 %
CC3.M52: offset_vt=0.0616888 uA offset_beta=0.0205295 uA sigma_vt=0.0116986 V sigma_beta=1.75382 %
CC3.M48: offset_vt=0.0588106 uA offset_beta=0.0132417 uA sigma_vt=0.00410895 V sigma_beta=0.451067 %
CC3.M49: offset_vt=0.051649 uA offset_beta=0.0207297 uA sigma_vt=0.00434936 V sigma_beta=0.811021 %
CC3.M50: offset_vt=0.0472365 uA offset_beta=0.0192698 uA sigma_vt=0.00660323 V sigma_beta=0.734708 %
CC3.M51: offset_vt=0.0461821 uA offset_beta=0.0187944 uA sigma_vt=0.00660323 V sigma_beta=0.734708 %
CC3.M52: offset_vt=0.0452032 uA offset_beta=0.00632577 uA sigma_vt=0.0102851 V sigma_beta=1.15 %
CC3.M53: offset_vt=0.0287516 uA offset_beta=0.0118628 uA sigma_vt=0.00434936 V sigma_beta=0.811021 %
CC3.M32: offset_vt=0.0188417 uA offset_beta=0.00244628 uA sigma_vt=0.00426971 V sigma_beta=0.469486 %
RBIAS: offset=0.01179 uA sigma=2.43673 %
CC3.M12: offset_vt=0.0103757 uA offset_beta=0.00165974 uA sigma_vt=0.00530212 V sigma_beta=0.814678 %
CC3.M10: offset_vt=0.0102504 uA offset_beta=0.00163075 uA sigma_vt=0.00530212 V sigma_beta=0.814678 %
CC3.M13: offset_vt=0.00928227 uA offset_beta=0.00141704 uA sigma_vt=0.00400023 V sigma_beta=0.438593 %
CC3.M11: offset_vt=0.00914327 uA offset_beta=0.00141017 uA sigma_vt=0.00400023 V sigma_beta=0.438593 %
CC3.MNB1: offset_vt=0.0080197 uA offset_beta=0.00282537 uA sigma_vt=0.00286375 V sigma_beta=0.538767 %
CC3.MPB1: offset_vt=0.00725703 uA offset_beta=0.0011446 uA sigma_vt=0.00511759 V sigma_beta=0.566221 %
CC3.M2: offset_vt=0.00307686 uA offset_beta=0.00108399 uA sigma_vt=0.00286375 V sigma_beta=0.538767 %
CC3.M0_1: offset_vt=0.00104184 uA offset_beta=0.000164331 uA sigma_vt=0.00511759 V sigma_beta=0.566221 %
CC3.M0_0: offset_vt=0.00104184 uA offset_beta=0.000164331 uA sigma_vt=0.00511759 V sigma_beta=0.566221 %
CC3.M0_3: offset_vt=0.00104184 uA offset_beta=0.000164331 uA sigma_vt=0.00511759 V sigma_beta=0.566221 %
CC3.M0_2: offset_vt=0.00104184 uA offset_beta=0.000164331 uA sigma_vt=0.00511759 V sigma_beta=0.566221 %
CC3.M0_5: offset_vt=0.00104184 uA offset_beta=0.000164331 uA sigma_vt=0.00511759 V sigma_beta=0.566221 %
CC3.M0_4: offset_vt=0.00104184 uA offset_beta=0.000164331 uA sigma_vt=0.00511759 V sigma_beta=0.566221 %
CC3.M0_6: offset_vt=0.00104184 uA offset_beta=0.000164331 uA sigma_vt=0.00511759 V sigma_beta=0.566221 %
CC3.M8_1: offset_vt=0.000715012 uA offset_beta=0.000252035 uA sigma_vt=0.00286375 V sigma_beta=0.538767 %
CC3.M8_0: offset_vt=0.000715012 uA offset_beta=0.000252035 uA sigma_vt=0.00286375 V sigma_beta=0.538767 %
CC3.M8_3: offset_vt=0.000715012 uA offset_beta=0.000252035 uA sigma_vt=0.00286375 V sigma_beta=0.538767 %
CC3.M8_2: offset_vt=0.000715012 uA offset_beta=0.000252035 uA sigma_vt=0.00286375 V sigma_beta=0.538767 %
CC3.M8_5: offset_vt=0.000715012 uA offset_beta=0.000252035 uA sigma_vt=0.00286375 V sigma_beta=0.538767 %
CC3.M8_4: offset_vt=0.000715012 uA offset_beta=0.000252035 uA sigma_vt=0.00286375 V sigma_beta=0.538767 %
CC3.M8_6: offset_vt=0.000715012 uA offset_beta=0.000252035 uA sigma_vt=0.00286375 V sigma_beta=0.538767 %
CC3.M4: offset_vt=5.36563e-05 uA offset_beta=1.52523e-05 uA sigma_vt=0.00493772 V sigma_beta=0.762187 %
CC3.M5: offset_vt=1.13458e-05 uA offset_beta=3.221e-06 uA sigma_vt=0.00493772 V sigma_beta=0.762187 %
CC3.MS1: offset_vt=2.07169e-13 uA offset_beta=1.18512e-14 uA sigma_vt=0.00980976 V sigma_beta=1.09648 %
CC3.MS3: offset_vt=1.64875e-14 uA offset_beta=3.76933e-15 uA sigma_vt=0.0112255 V sigma_beta=1.68383 %
CC3.M37: offset_vt=0 uA offset_beta=0 uA sigma_vt=0.0116986 V sigma_beta=1.75382 %
CC3.M33: offset_vt=0 uA offset_beta=0 uA sigma_vt=0.00631119 V sigma_beta=0.653816 %
CC3.M28: offset_vt=0 uA offset_beta=0 uA sigma_vt=0.00588894 V sigma_beta=0.653816 %
CC3.M44: offset_vt=0 uA offset_beta=0 uA sigma_vt=0.00631119 V sigma_beta=0.653816 %
CC3.M29: offset_vt=0 uA offset_beta=0 uA sigma_vt=0.00434936 V sigma_beta=0.811021 %
CC3.M24: offset_vt=0 uA offset_beta=0 uA sigma_vt=0.00410895 V sigma_beta=0.451067 %
CC3.M26: offset_vt=0 uA offset_beta=0 uA sigma_vt=0.00434936 V sigma_beta=0.811021 %
CC3.M27: offset_vt=0 uA offset_beta=0 uA sigma_vt=0.00588894 V sigma_beta=0.653816 %
CC3.M42: offset_vt=0 uA offset_beta=0 uA sigma_vt=0.0116986 V sigma_beta=1.75382 %
R1: offset=0 uA sigma=1.111 %
CC3.M23: offset_vt=0 uA offset_beta=0 uA sigma_vt=0.00434936 V sigma_beta=0.811021 %
CC3.M38: offset_vt=0 uA offset_beta=0 uA sigma_vt=0.00631119 V sigma_beta=0.653816 %
CC3.M35: offset_vt=0 uA offset_beta=0 uA sigma_vt=0.0116986 V sigma_beta=1.75382 %

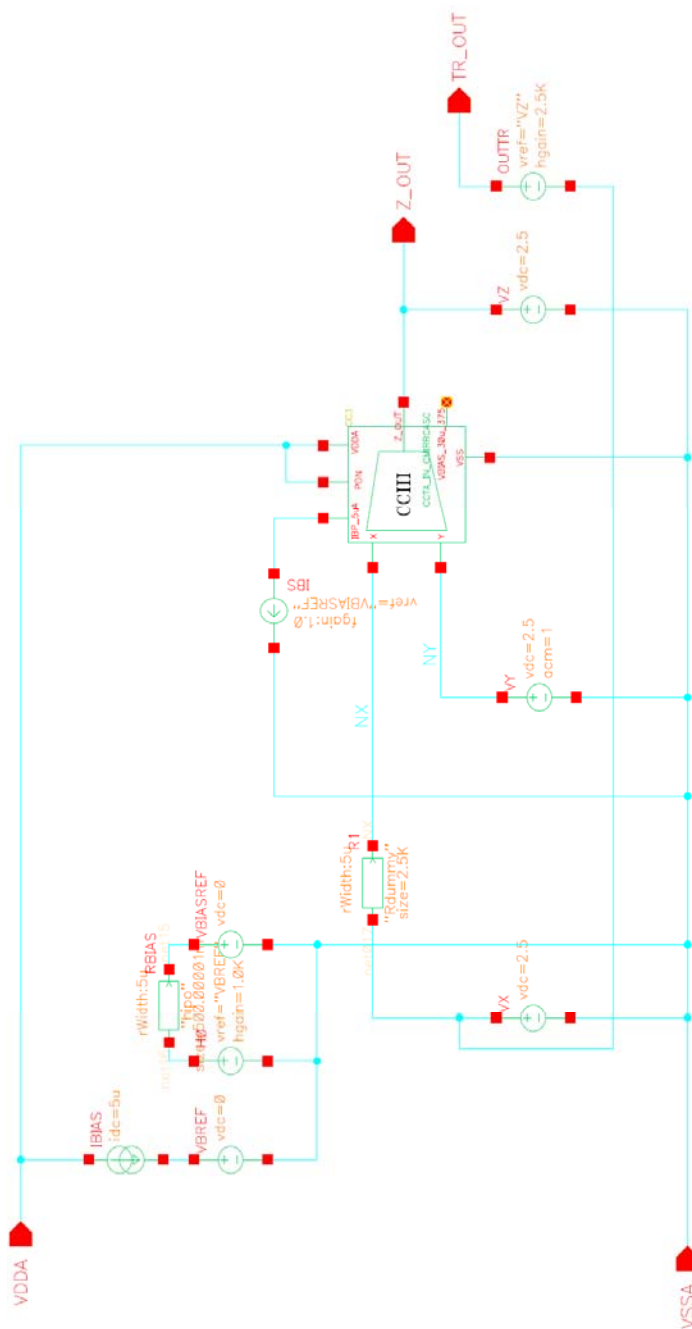
Total offset: 10.8218 uA (1 sigma !!!)

Depending on the layout, the offset can vary between:

Total offset in case all low matched: 10.8218 uA (1 sigma !!!)

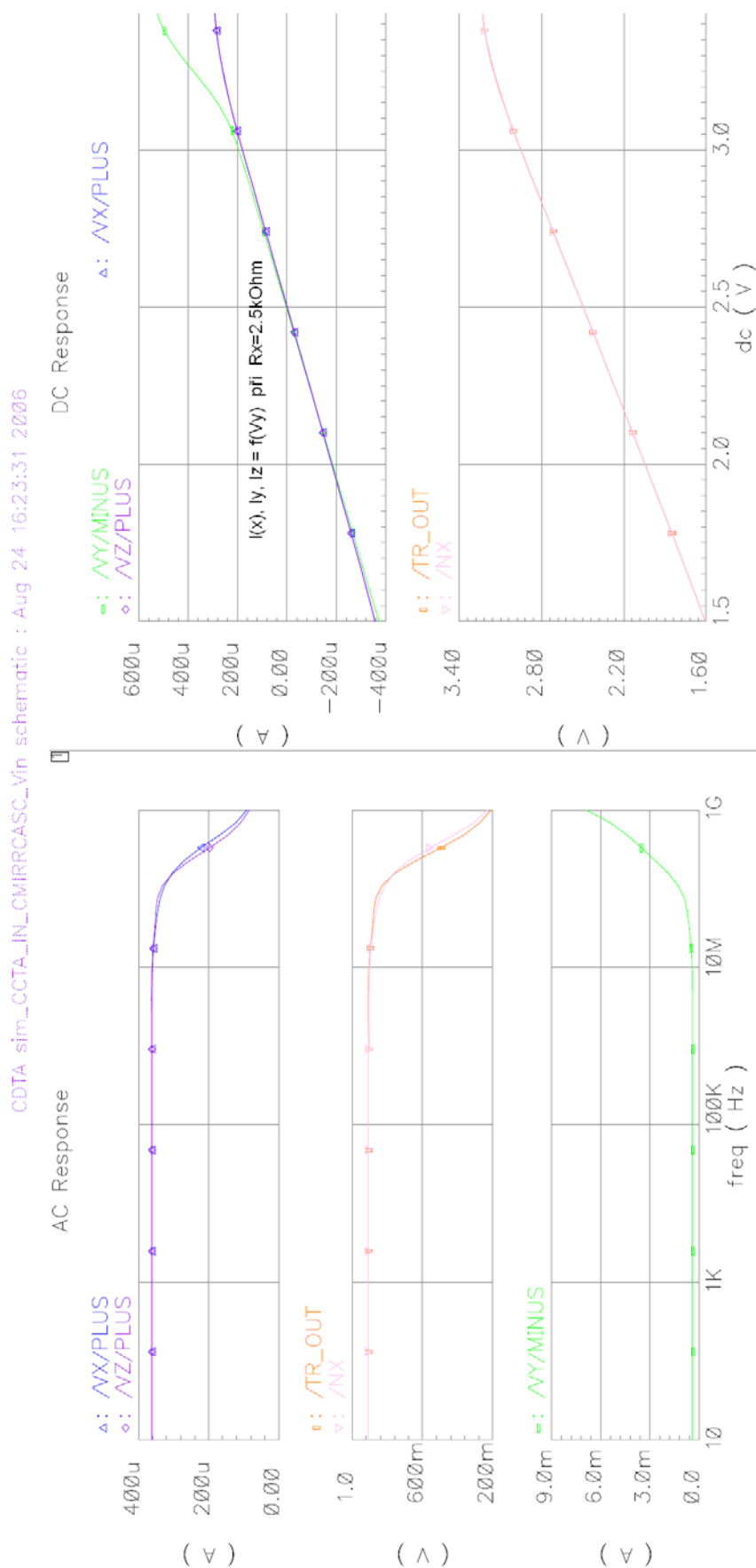
Total offset in case all high matched: 2.70544 uA (1 sigma !!!)

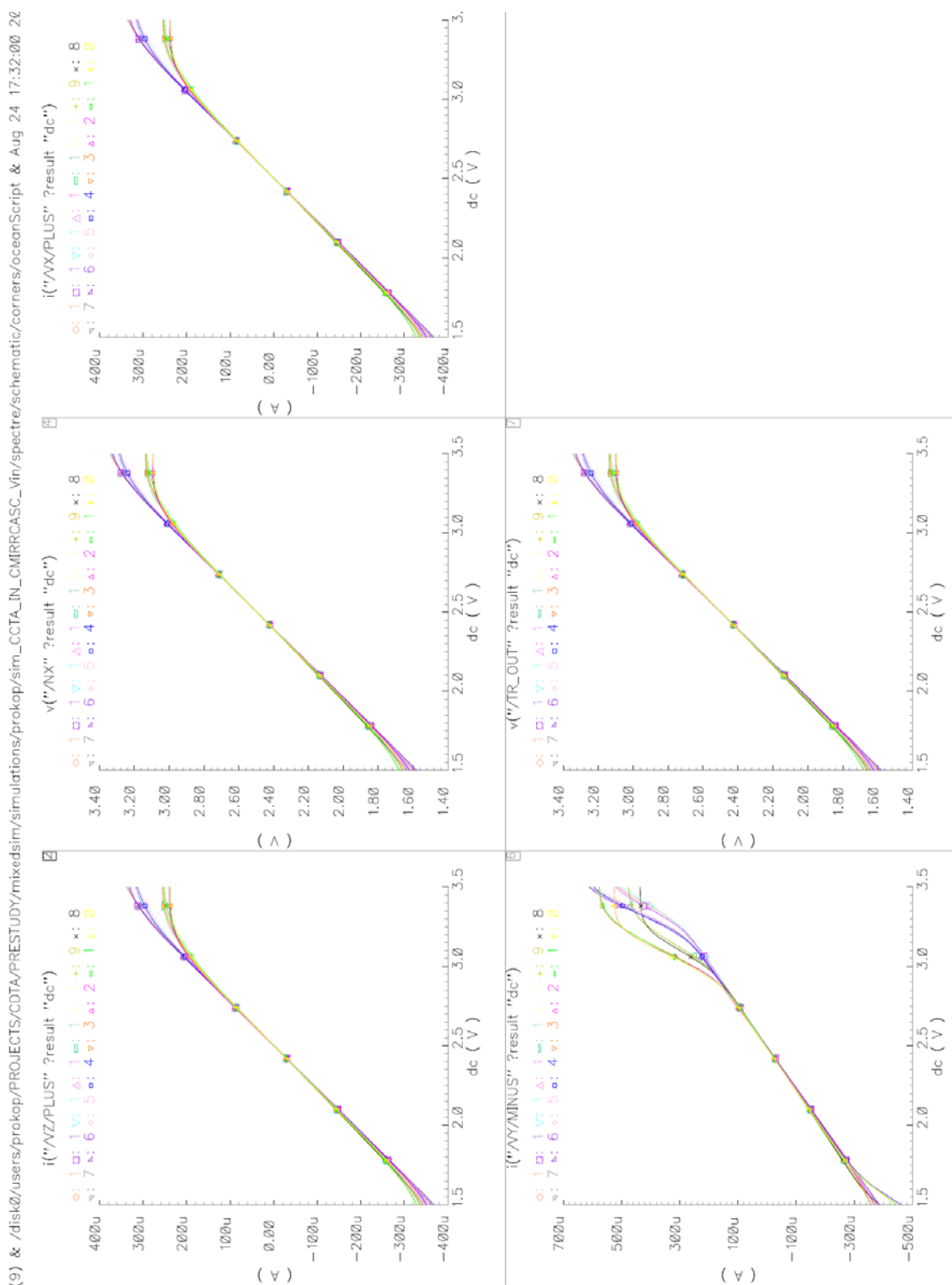
A1g. Simulační schéma pro obvod CCIII_mirr – buzení napětím V_Y



cmos07	v1.0	CDTA_NAA
RP		
sim_CCTA_IN_CMIRRCASC_Vin		
Aug 24 16:20:55 2006		

A1h. Typické simulace CCIII_mirr - buzení napětím V_Y



A1i. Charakterizace simulací CCIII_mirr - buzení napětím V_Y


A1j. Popis uvedených simulací obvodu CCIII_mirr

Simulační schéma A1c. – obvod buzen proudem do svorky X

Simulace A1d. – levé okno, simulace AC $\rightarrow Z_{vstX} = 220 \Omega$

\rightarrow přenos proudu do svorky Y a Z, $B_0=1$

\rightarrow mezní kmitočet přenosu proudu (-3dB)

- pravé okno, simulace DC $\rightarrow V(X)$ – změna $V(X)$ v důsledku $Z_{vst} \neq 0$

\rightarrow přenos proudu z X do Z a -(Y)

\rightarrow chyba přenosu proudu Y a Z

Simulace A1e. – charakterizace (Corner analysis) simulace A1d.

Simulace A1f. – „Matching analysis“ proudového offsetu na svorce Z

$$V_{\text{offs}} = 2.7 \mu\text{A (pro } 1\sigma)$$

Simulační schéma A1g. – obvod buzen napětím na svorce Y, na svorku X připojen odpor $2.5 \text{ k}\Omega$.

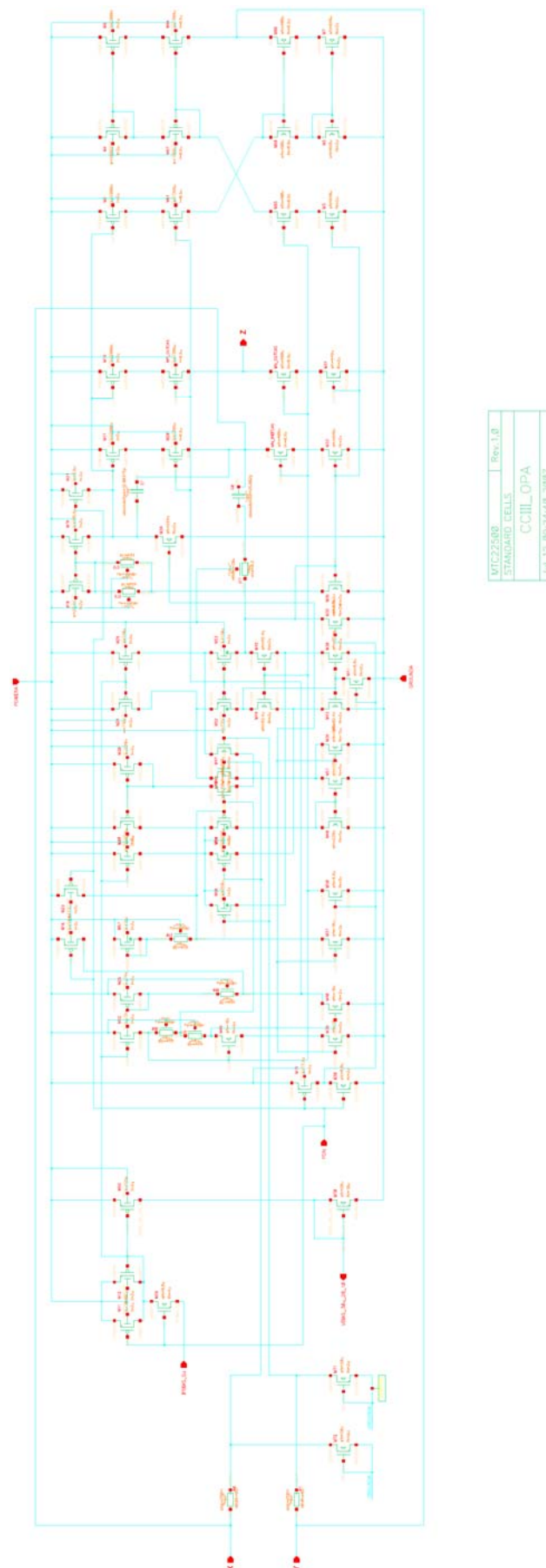
Simulace A1h. – levé okno, simulace AC

- pravé okno, simulace DC, \rightarrow proudy svorkami X, Y, Z při změně V_Y

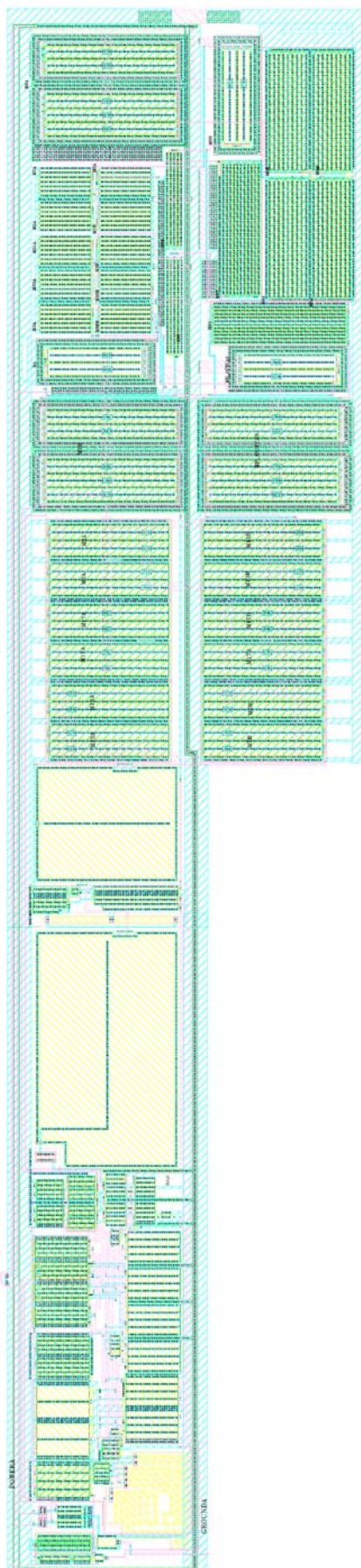
\rightarrow napětí na svorce X při změně V_Y

Simulace A1i. – charakterizace simulace A1h

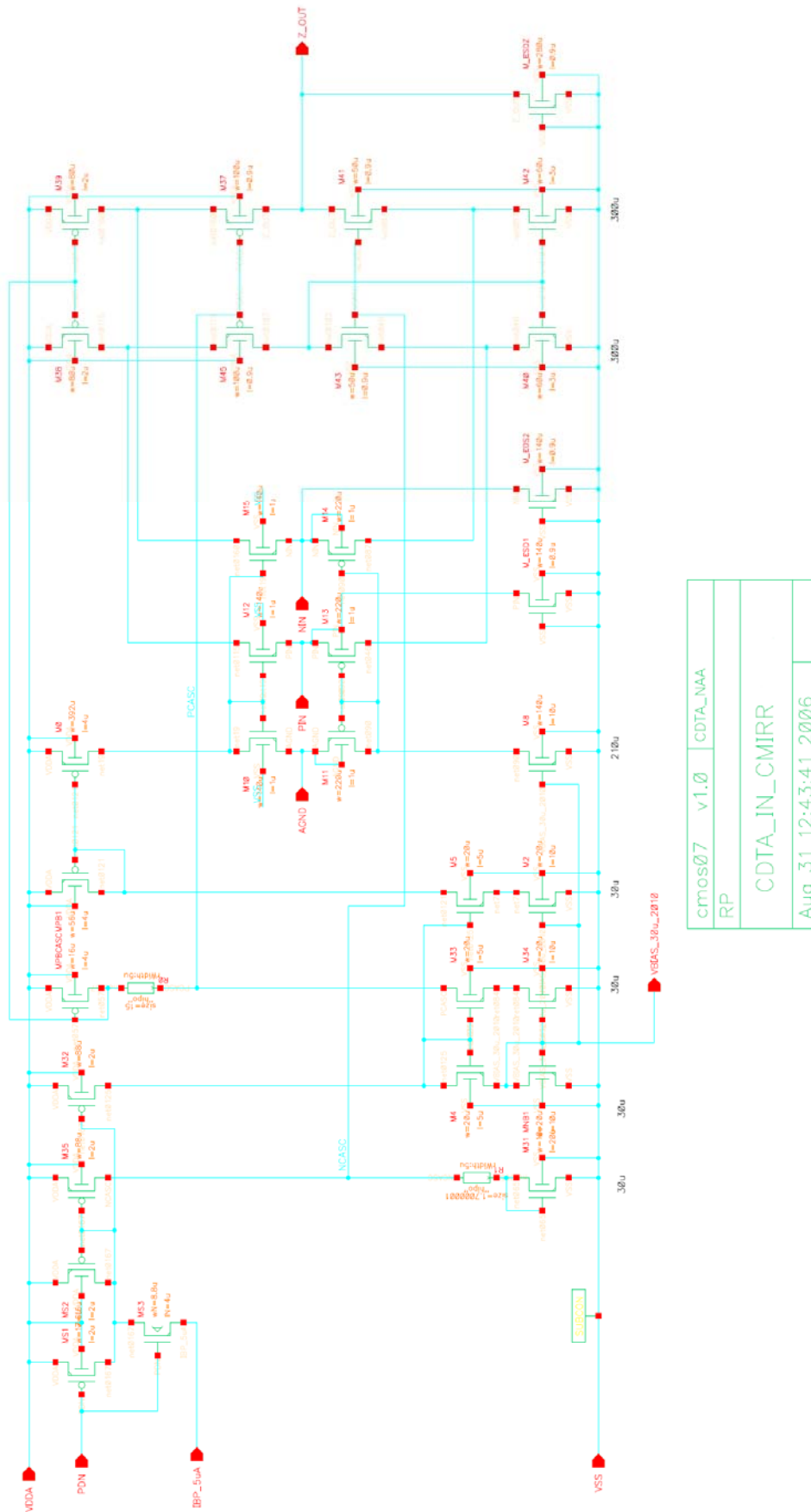
A2a. Schéma obvodu CCIII_opa z prostředí Cadence



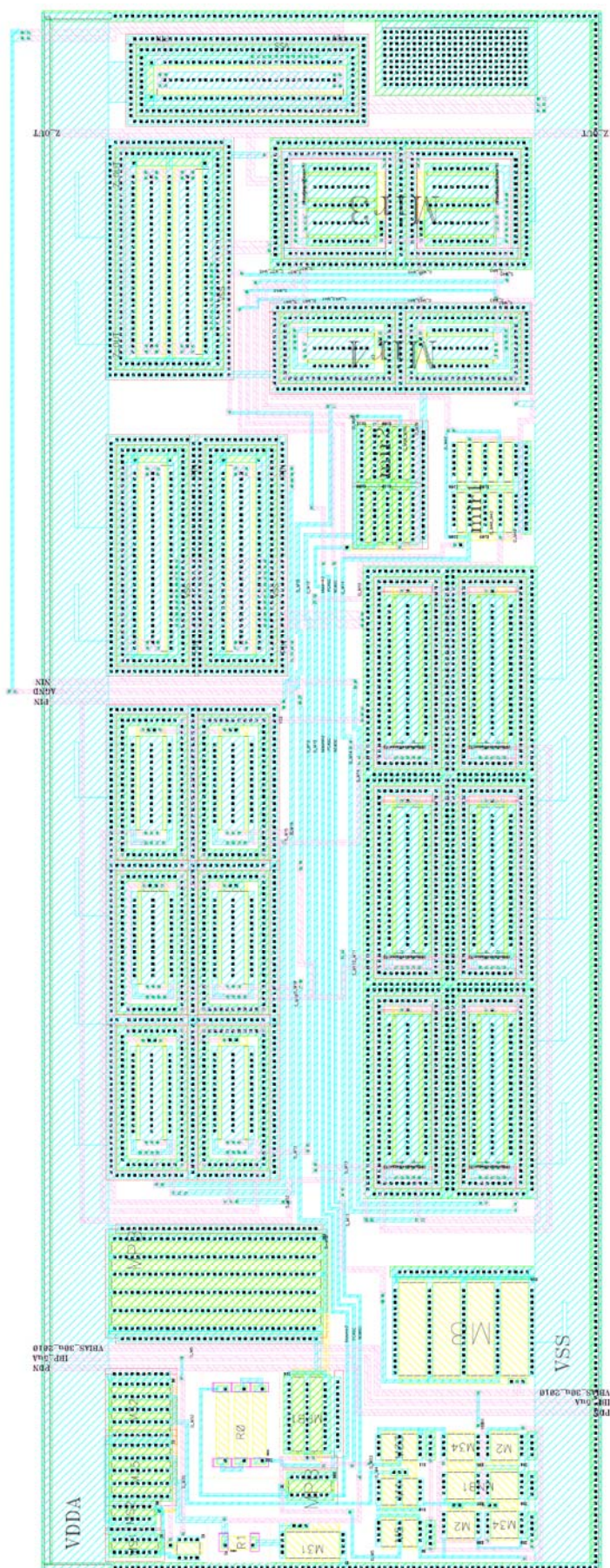
A2b. Layout realizovaného CCIII_opa v CMOS07



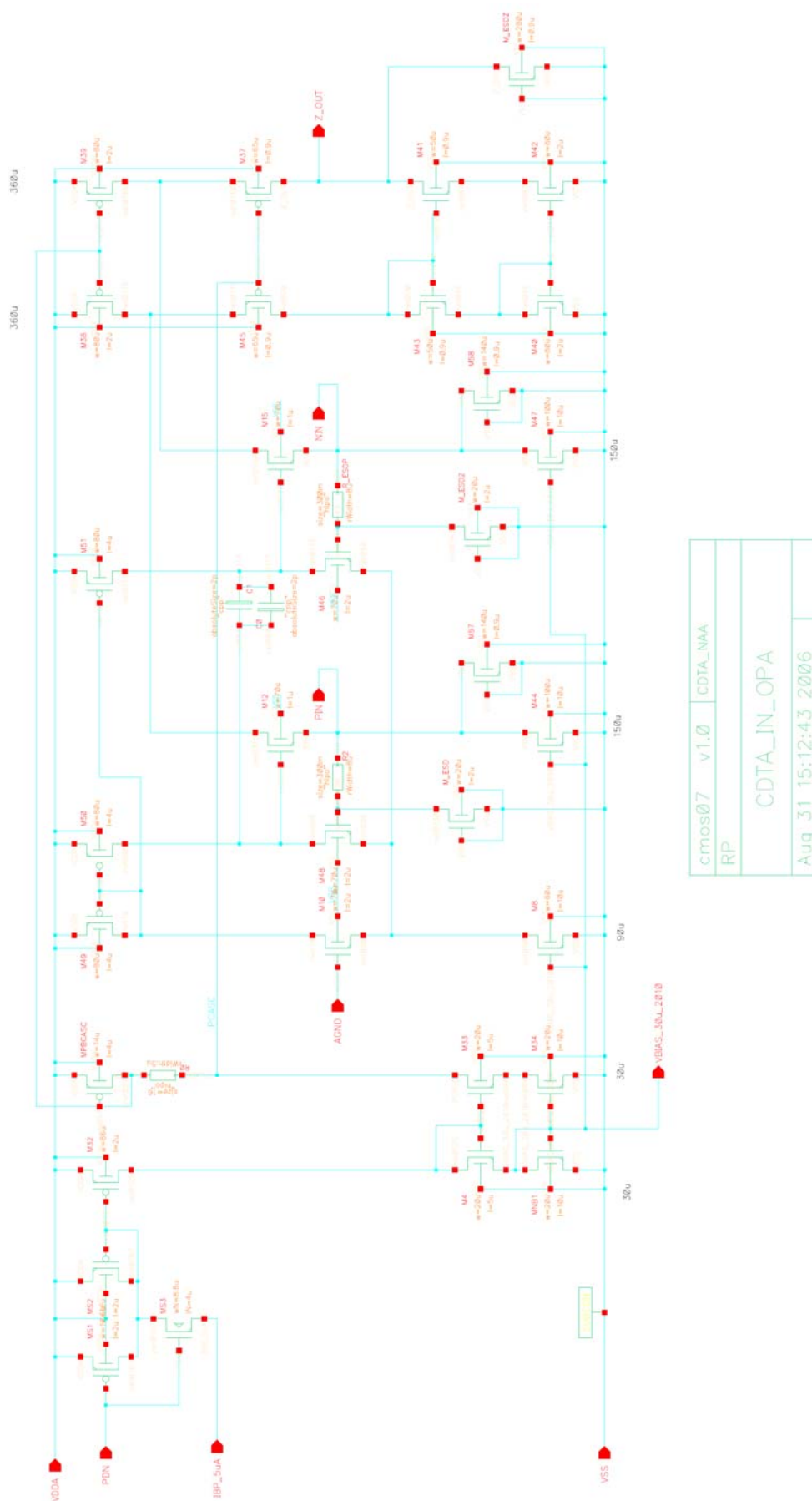
A3a. Schéma obvodu IDIFF_mirr z prostředí Cadence



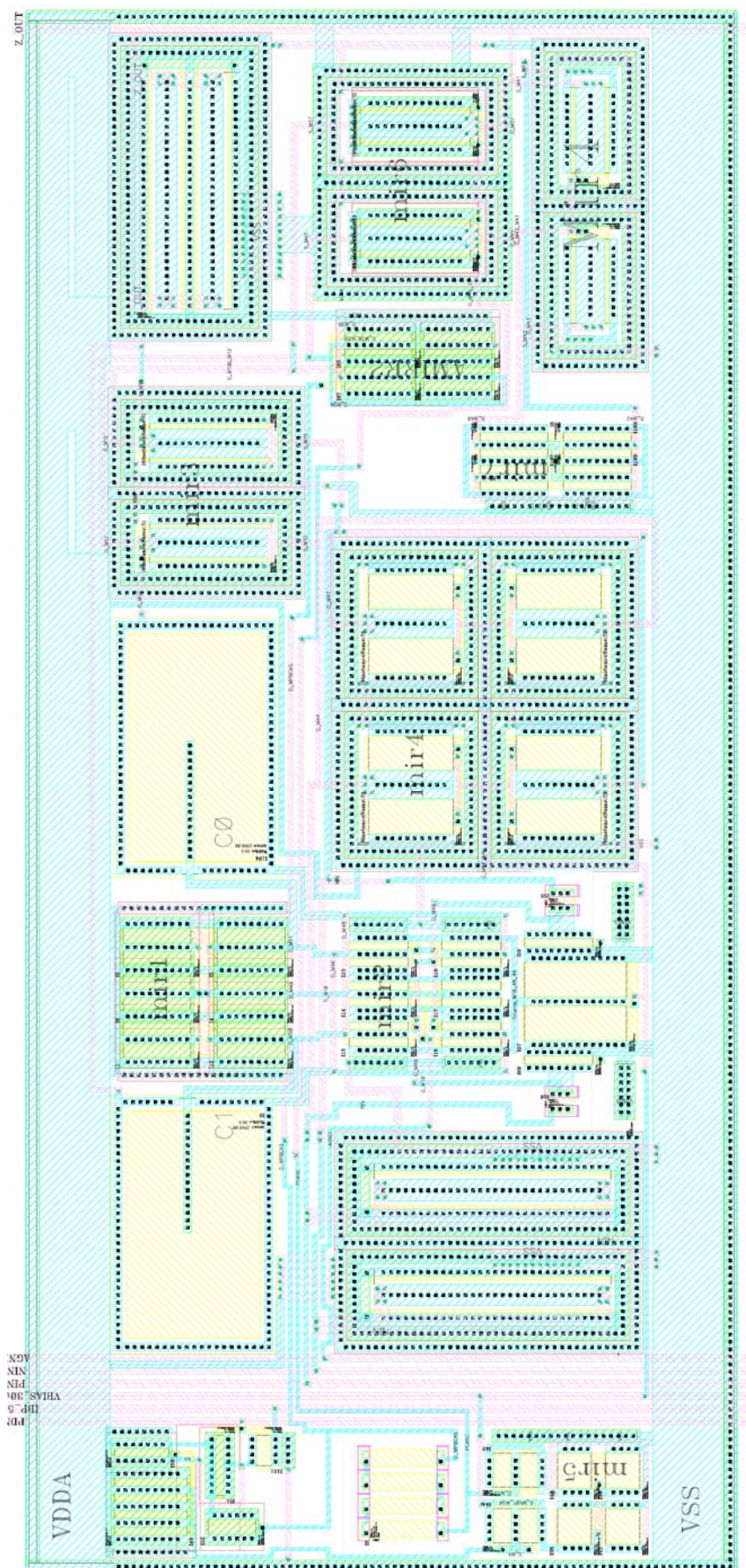
A3b. Layout obvodu IDIFF_mirr v CMOS07



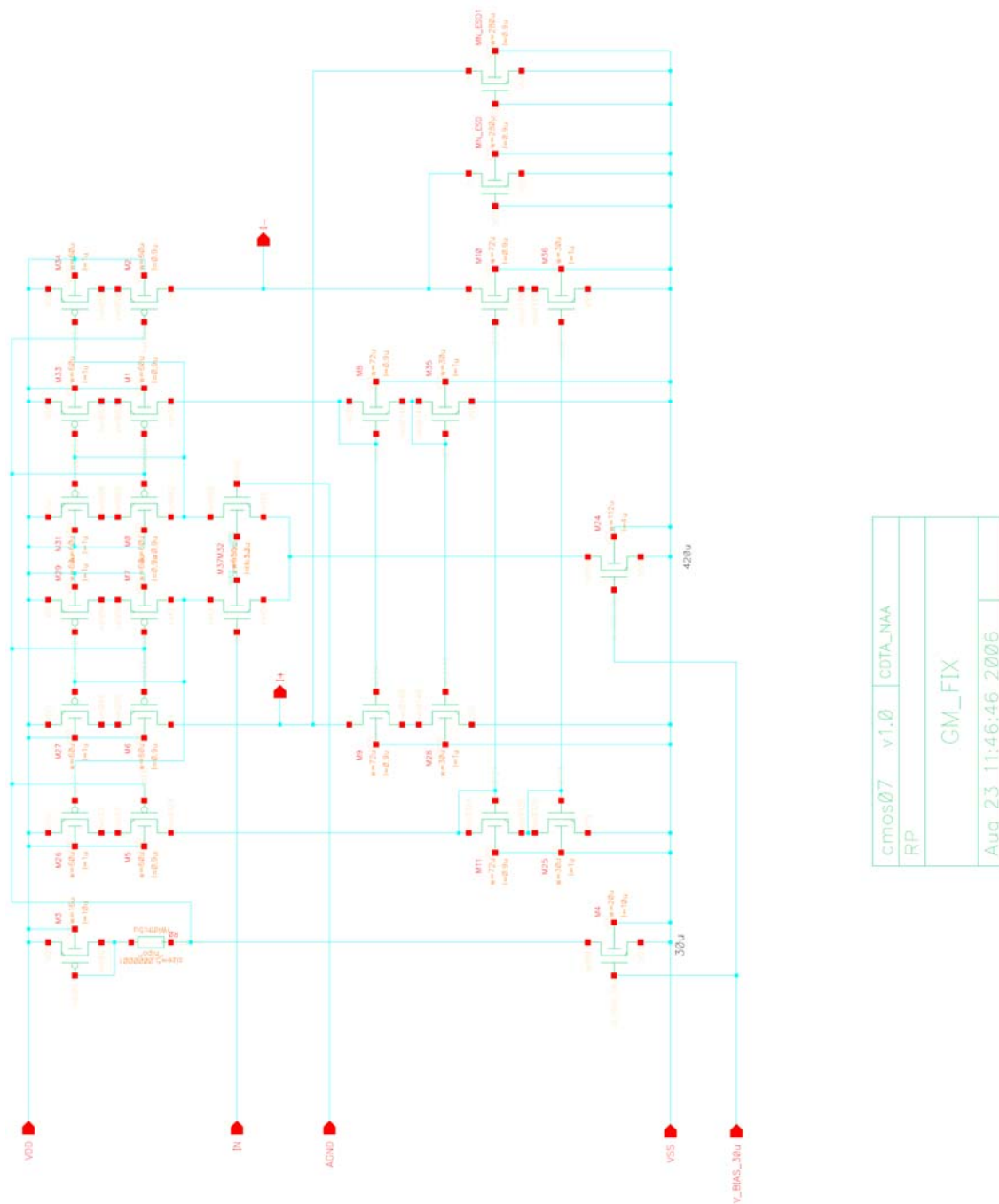
A4a. Schéma obvodu IDIFF_opa z prostředí Cadence



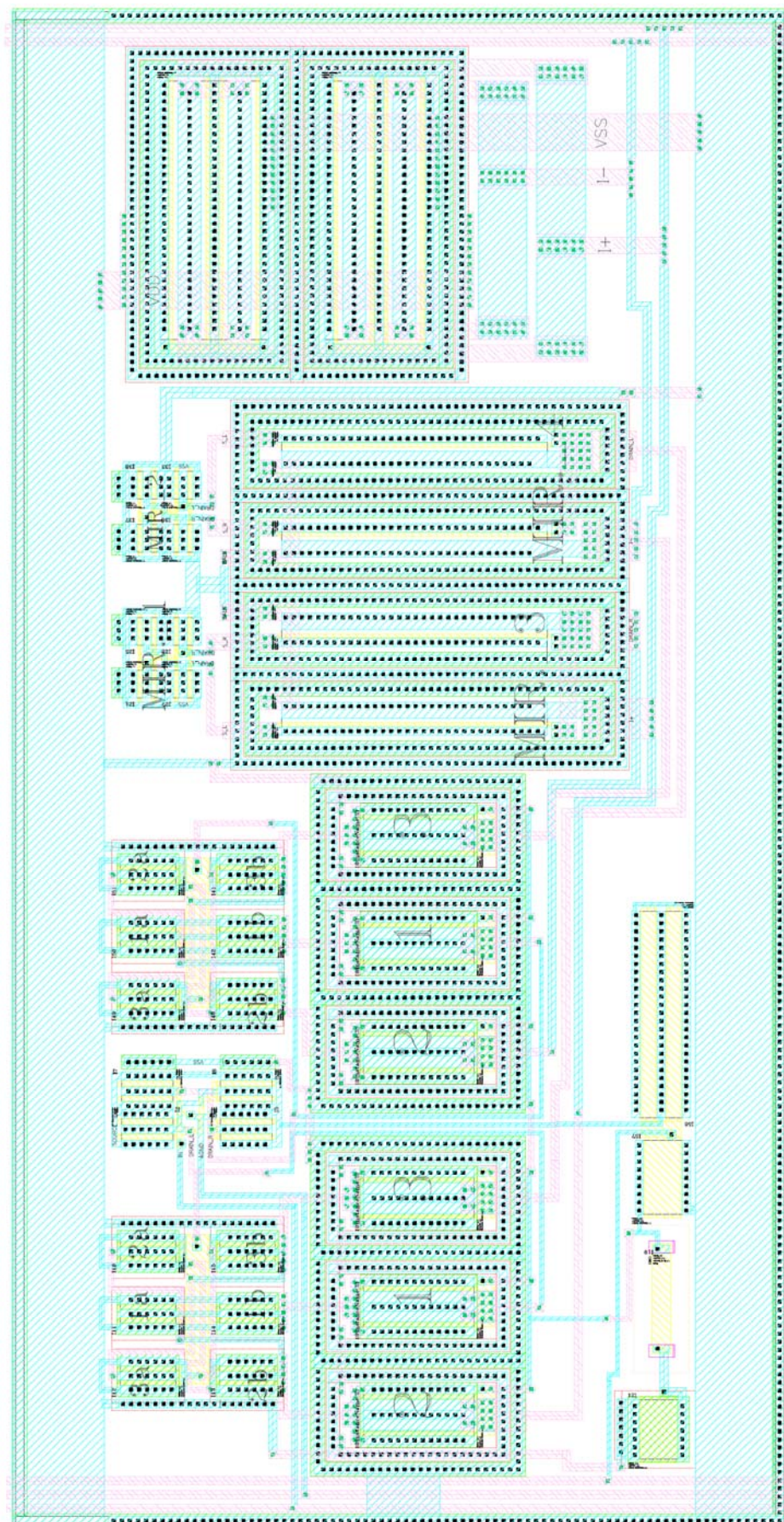
A4b. Layout obvodu IDIFF_opa v CMOS07



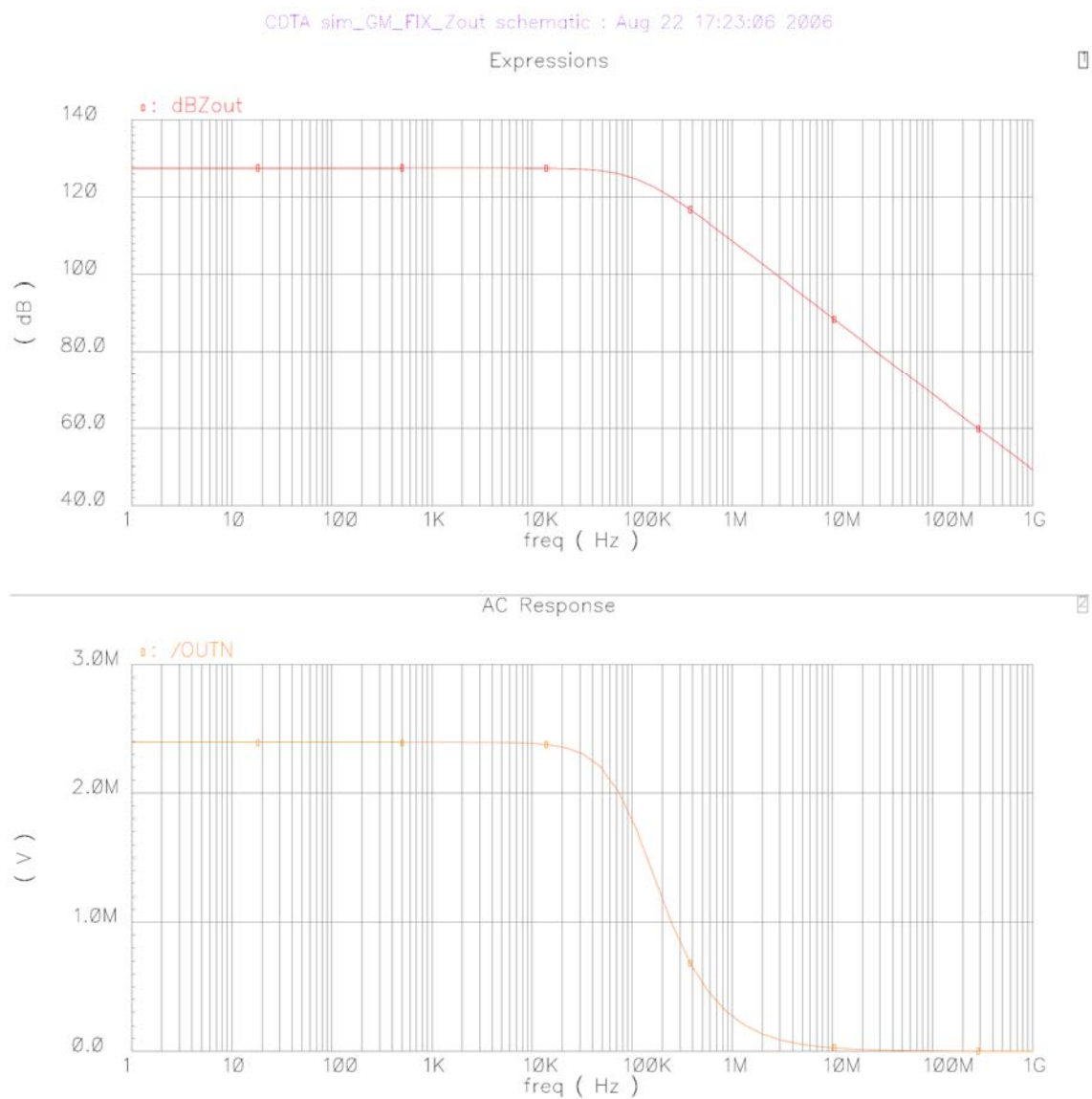
A5a. Schéma transkonduktančního stupně GM_FIX z prostředí Cadence



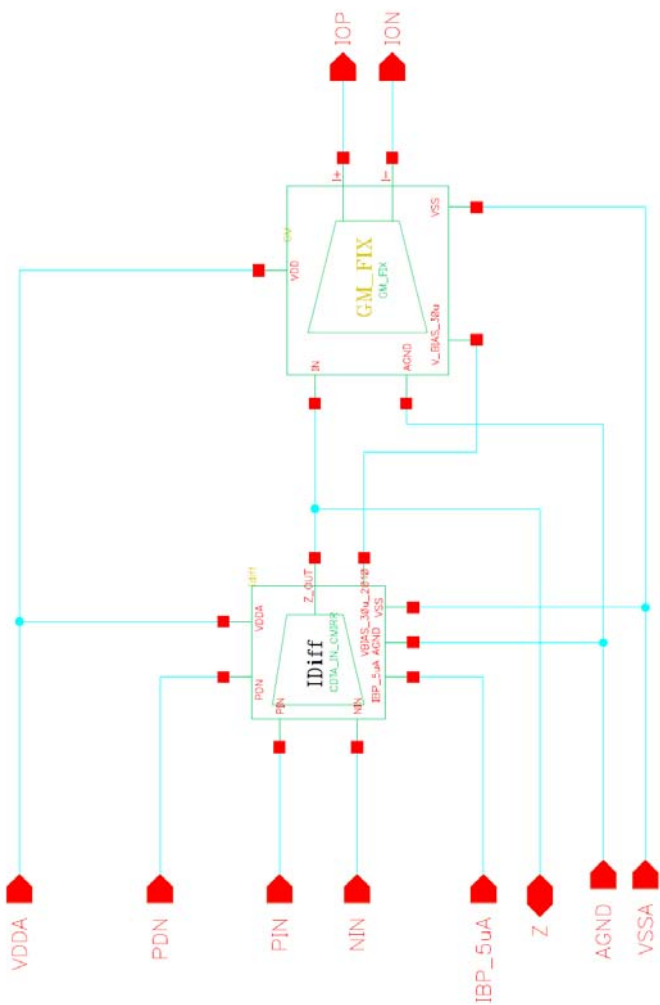
A5b. Layout realizovaného GM_FIX v CMOS07



A5d. Typická střídavá (AC) simulace výstupní impedance

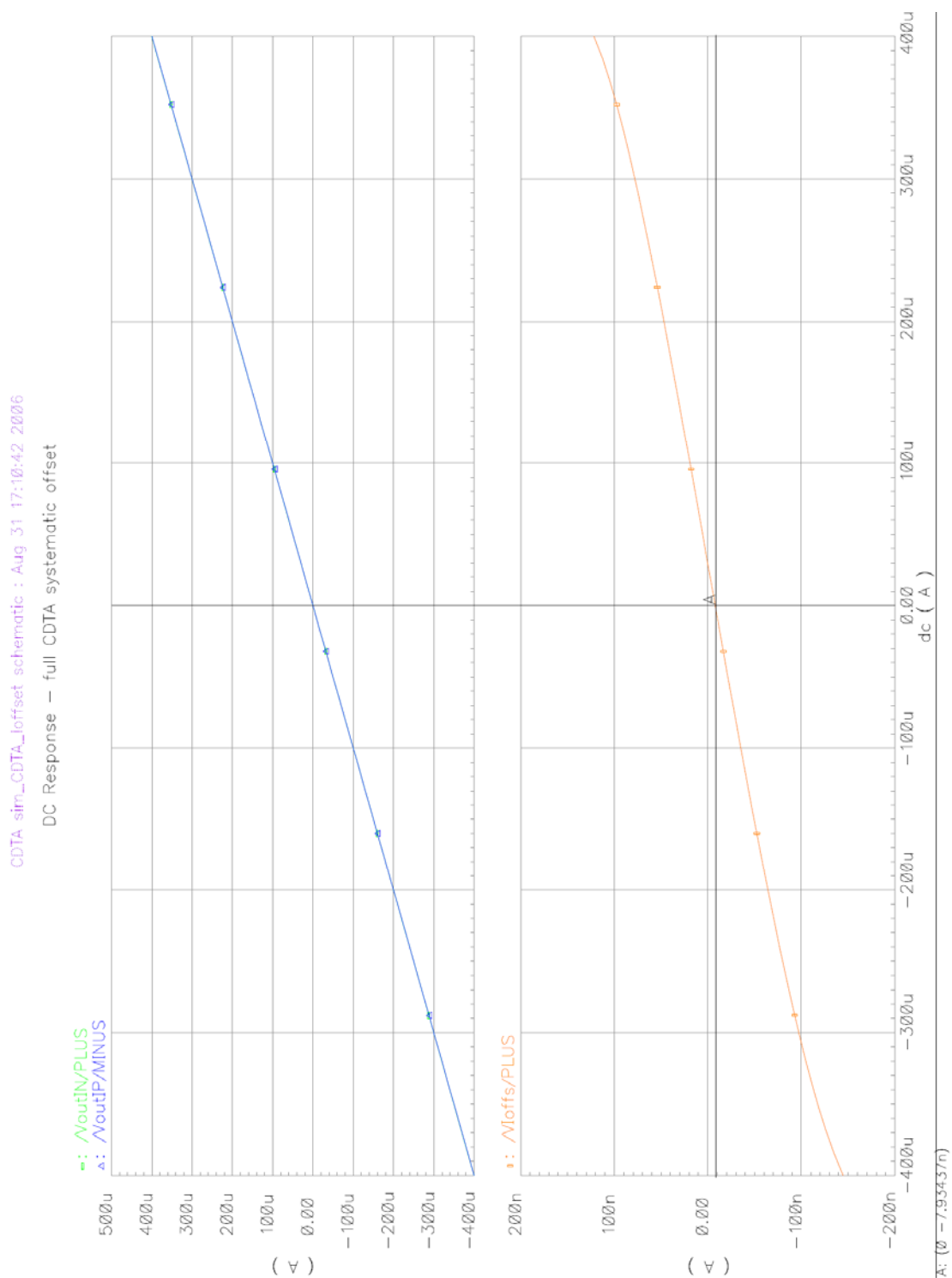


A6a. Schéma obvodu CDTA_opa z prostředí Cadence

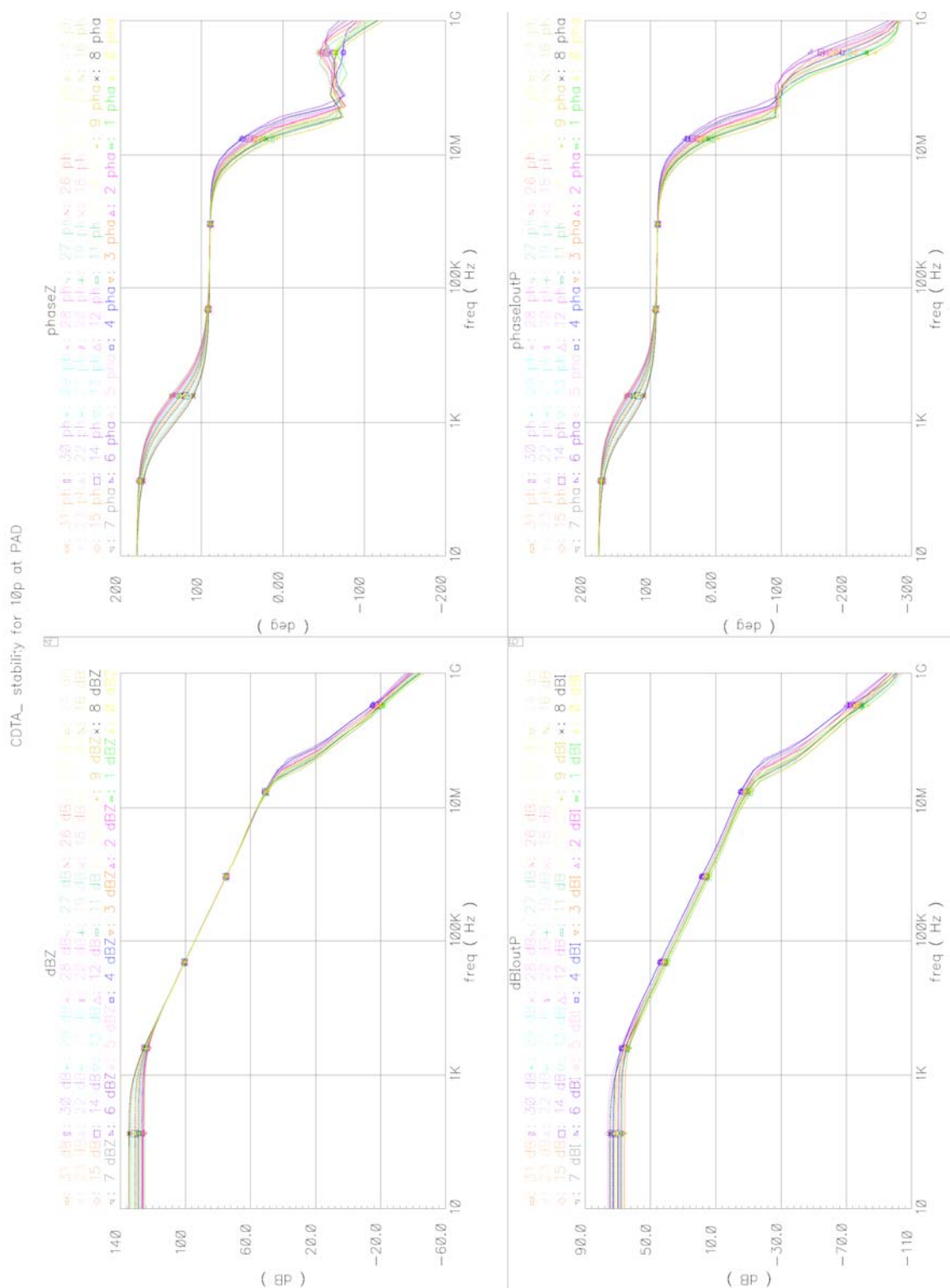


cmos07	v1.0	CDTA_NAA
RP		
CDTA		
Aug 27 16:10:42 2006		

A6b. DC simulace přenosu proudu a system. ofsetu CDTA – typ. podmínky



A6c. Charakterizace střídavé simulace proudového přenosu CDTA_opa



A6d. Výpis fázové a amplitudové bezpečnosti CDTA (stabilita)

INFO

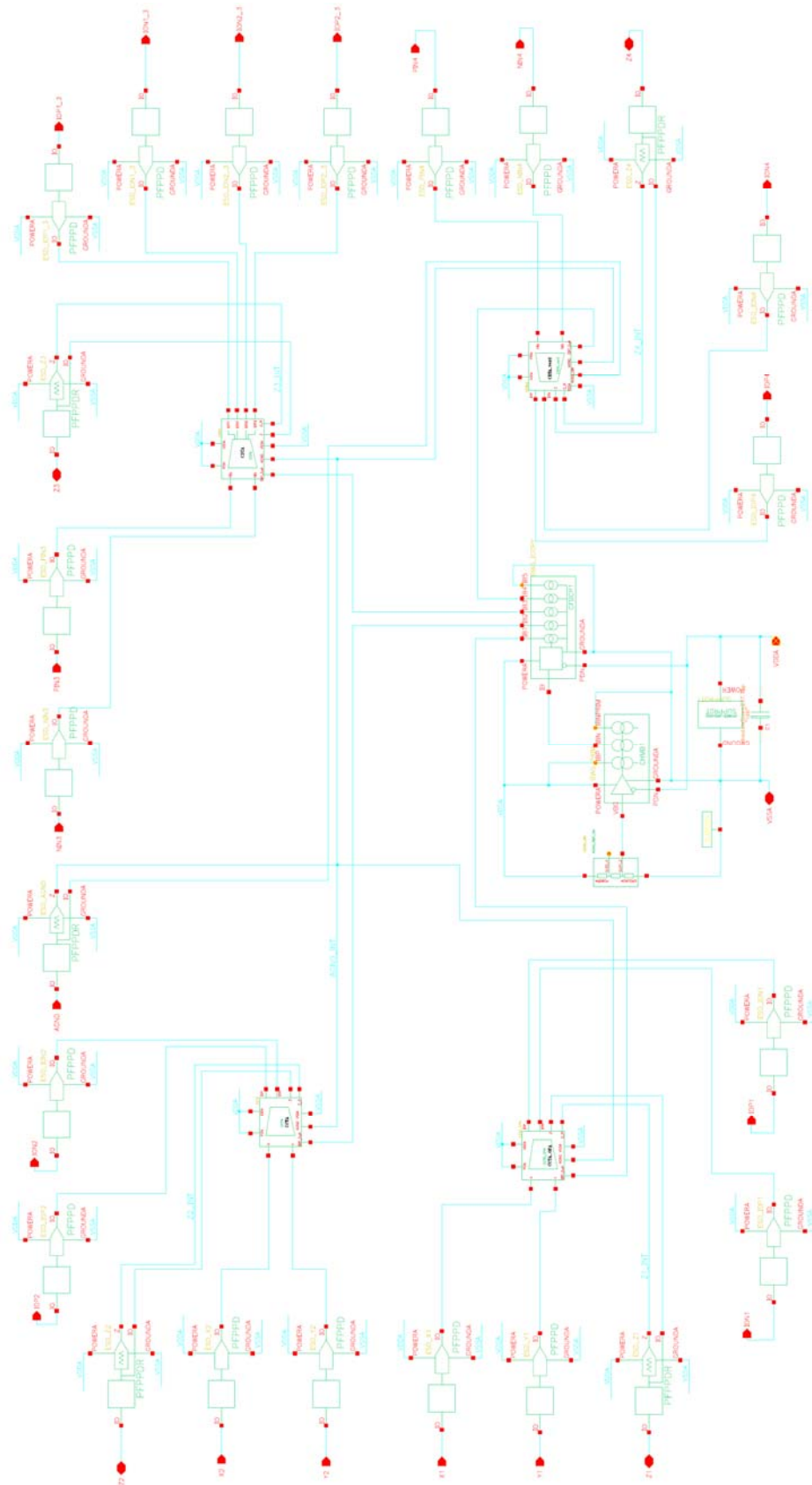
```
These are the results for corneranalysis:
/disk0/users/prokop/PROJECTS/CDTA/PRESTUDY/mixedsim/simulations/prokop/sim_
CDTA/spectre/schematic/corners/oceanScript
Aug 31 16:45
(+) max, fast or best(-) min, slow or worst      (0) typ
(@) nfast_pfast ($) nfast_pslow (#) nslow_pfast (*) nslow_pslow (%)
ntyp_ptyp

PMPout = (180 + phaseMargin(IF("/VoutIP/PLUS")))
AMPout = value(dB20(IF("/VoutIP/PLUS")) cross(phase(IF("/VoutIP/PLUS")) 0 1
"falling"))
GBWPout = cross(dB20(IF("/VoutIP/PLUS")) 0 1 "falling")
```

RESULTS

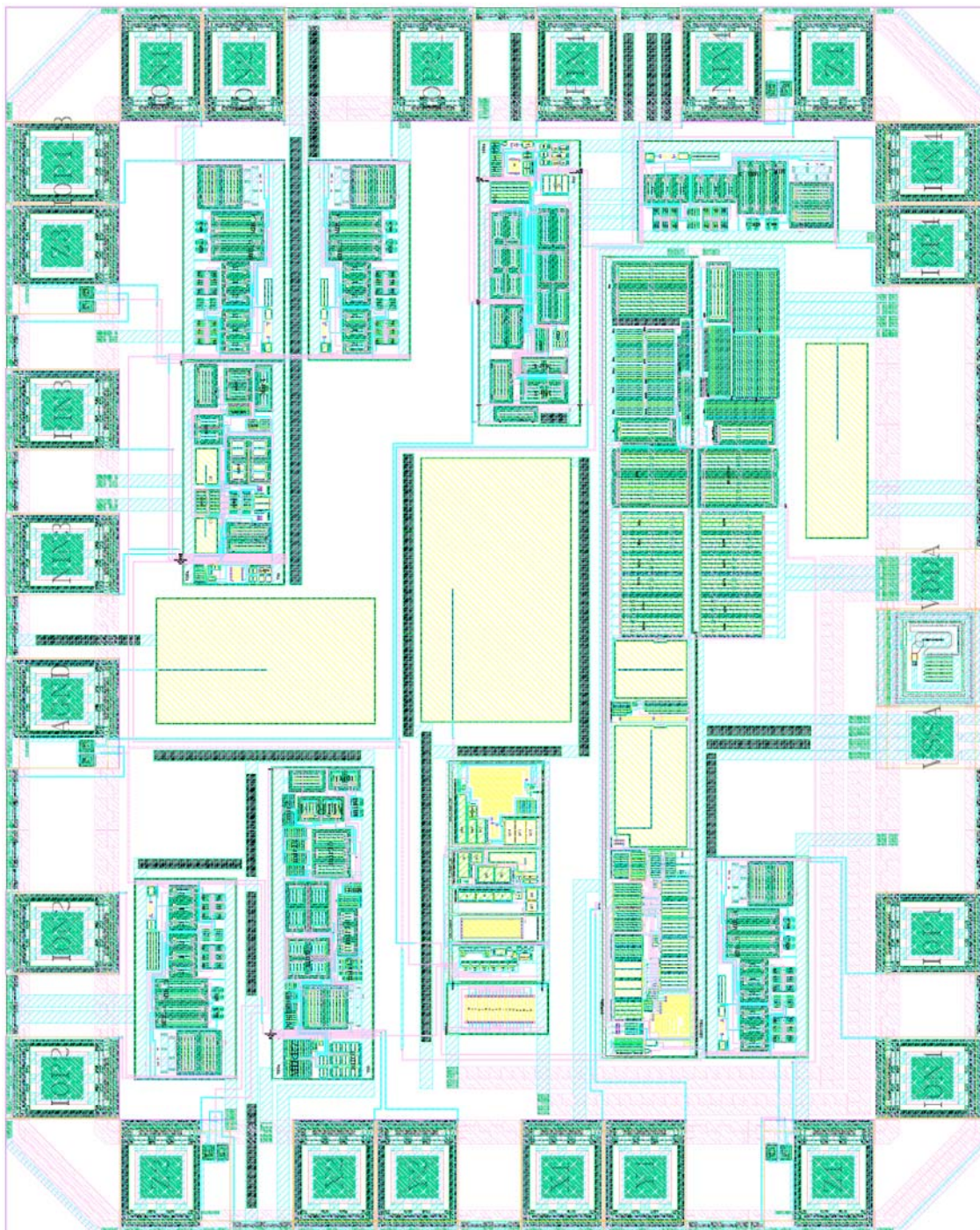
c c r	n p			
o a e	d d			
r p s n p i i	t			
n a i m m o o p e				
e c s o o d d n m				
r i t s s e e p p				
		PMPout	AMPout	GBWPout
0	- - - - 0 0 0 0	71.345595	-10.758247	7.3286081M
1	- - - - 0 0 0 70	72.108178	-10.995985	6.1311673M
2	- - - + 0 0 0 0	72.772051	-12.228546	7.3113059M
3	- - - + 0 0 0 70	73.340402	-12.242889	6.1023209M
4	- - + - 0 0 0 0	71.933108	-10.858924	9.2555659M
5	- - + - 0 0 0 70	72.718478	-11.363492	7.8202308M
6	- - + + 0 0 0 0	73.493983	-12.495962	9.2653949M
7	- - + + 0 0 0 70	73.987988	-12.645164	7.8135565M
8	- + - - 0 0 0 0	70.205764	-10.459346	6.2346513M
9	- + - - 0 0 0 70	70.612147	-10.844504	5.3040535M
10	- + - + 0 0 0 0	71.679533	-11.739685	6.2131686M
11	- + - + 0 0 0 70	71.985832	-12.213579	5.2749224M
12	- + + - 0 0 0 0	70.53234	-10.755478	7.9199551M
13	- + + - 0 0 0 70	71.421307	-10.912278	6.801317M
14	- + + + 0 0 0 0	72.167369	-12.146293	7.9248214M
15	- + + + 0 0 0 70	72.900171	-12.640076	6.7837496M
16	+ - - - 0 0 0 0	69.608705	-11.538784	7.1989421M
17	+ - - - 0 0 0 70	70.185938	-11.719224	6.0306639M
18	+ - - + 0 0 0 0	70.994852	-12.9277	7.1815209M
19	+ - - + 0 0 0 70	71.365313	-13.002041	6.0042951M
20	+ - + - 0 0 0 0	70.190797	-11.542675	9.0825297M
21	+ - + - 0 0 0 70	70.809947	-12.058803	7.713574M
22	+ - + + 0 0 0 0	71.7122	-13.24654	9.0923436M
23	+ - + + 0 0 0 70	72.048868	-13.337651	7.7079034M
24	+ + - - 0 0 0 0	68.602281	-11.105052	6.0859715M
25	+ + - - 0 0 0 70	68.95616	-11.628789	5.1993746M
26	+ + - + 0 0 0 0	70.017907	-12.395797	6.0654395M
27	+ + - + 0 0 0 70	70.286096	-12.880777	5.1717555M
28	+ + + - 0 0 0 0	68.951656	-11.418534	7.7574974M
29	+ + + - 0 0 0 70	69.813557	-11.608975	6.6631524M
30	+ + + + 0 0 0 0	70.541378	-12.734951	7.7619878M
31	+ + + + 0 0 0 70	71.242267	-13.359316	6.6481765M
		PMPout	AMPout	GBWPout
MIN		68.60228	-13.35932	5.171756M
corner	24		31	27
MAX		73.98799	-10.45935	9.265395M
corner	7		8	6

A7a. Kompletní „TOP“ schéma včetně ESD ochran

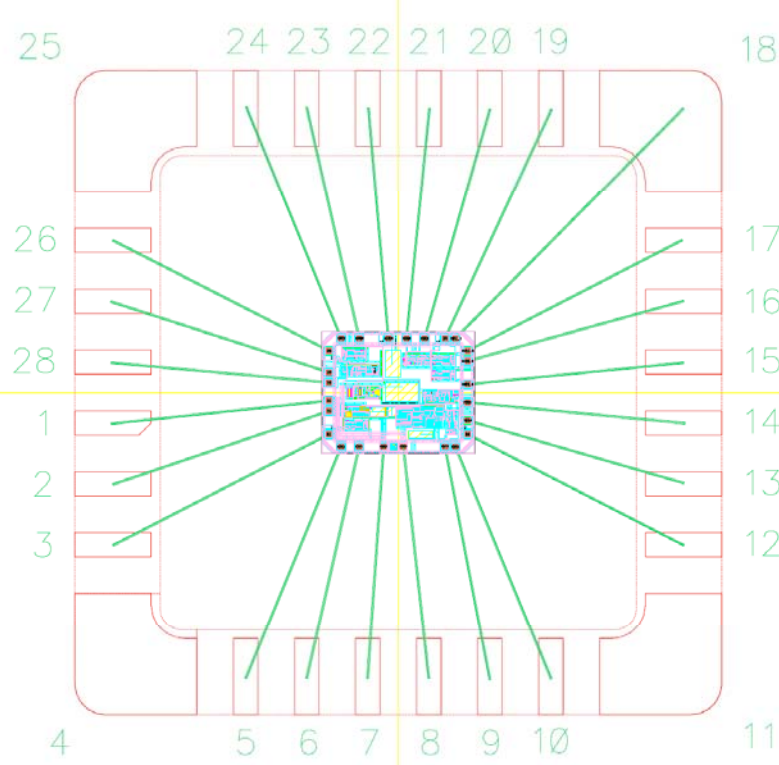




cmos07	v1.0	ODT_NAA
RP		
		BIOL_NAA
		Jul 12 09:22:22 2007

A7b. Toplayout

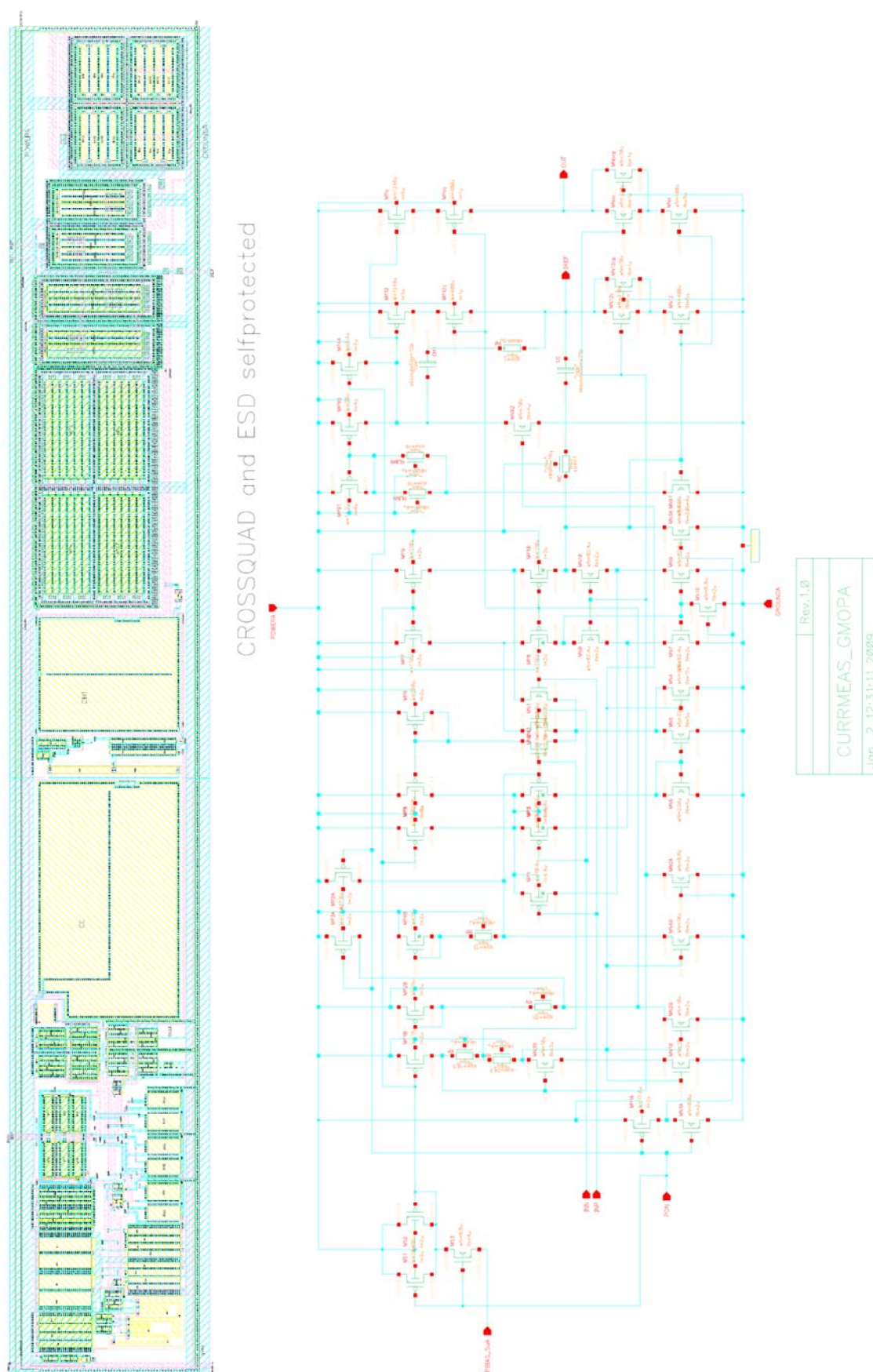


A7c. Schéma zapojení čipu v pouzdře (Bonding diagram)

Request:	<div style="font-size: 2em; font-weight: bold;">DIL 28</div> <div style="font-size: 0.8em;">Ceramic Dual In Line package</div>	
		
Comment:		
MPW:	Date:	Scale 10
Die: DIL 28_A4	Size incl scribe:	
Qty packaged: 20	Lid: Taped <input type="checkbox"/> Sealed <input type="checkbox"/> Glued <input checked="" type="checkbox"/> Glass <input type="checkbox"/>	
Qty naked:	 <div style="display: inline-block; text-align: center;"> <div style="font-weight: bold; font-size: 1.2em;">Europractice</div> <div>IC Service</div> <div>Coordinated by IMEC</div> <div style="font-size: 0.9em;">www.europractice.imec.be</div> </div> 	
Die Attach:		
Wire:		
Info:		

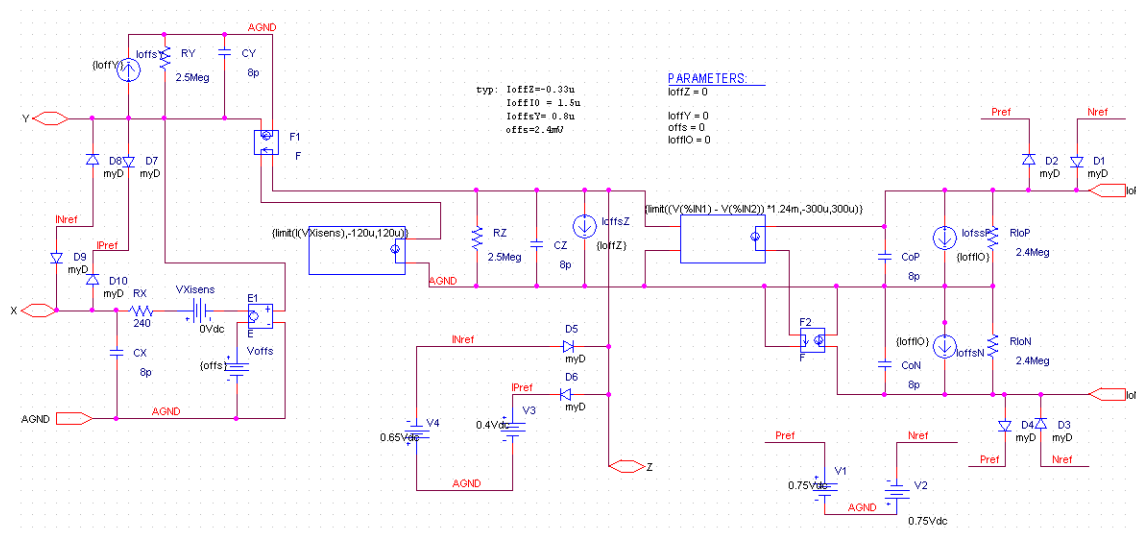
Made by Luc Loevenen (IMEC)

A8a. Schéma a layout přesného konveju CCII+

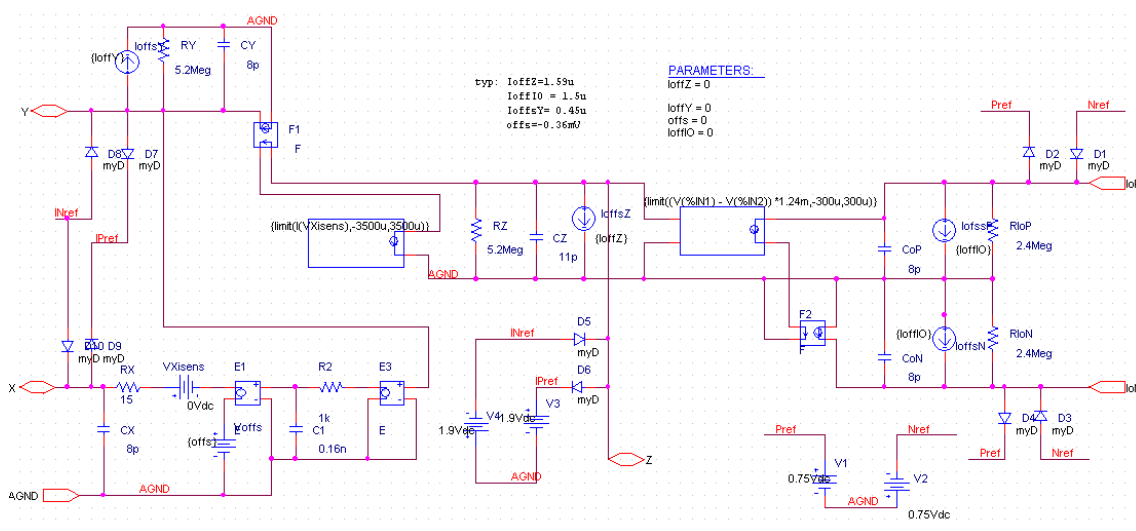


B1. Schémata vnitřních zapojení behaviorálních modelů

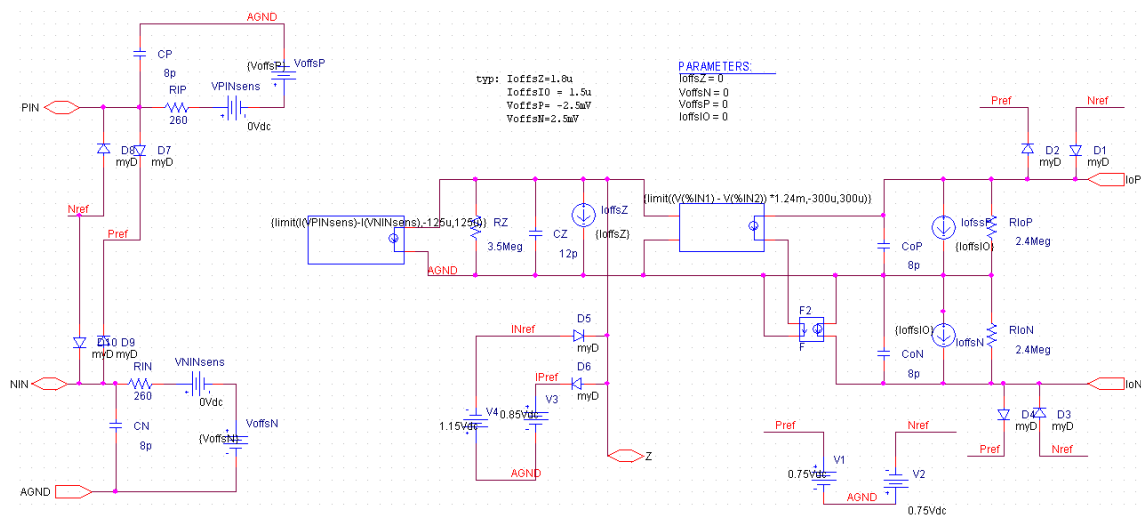
B1a. Vnitřní zapojení modelu CCTA_mirr



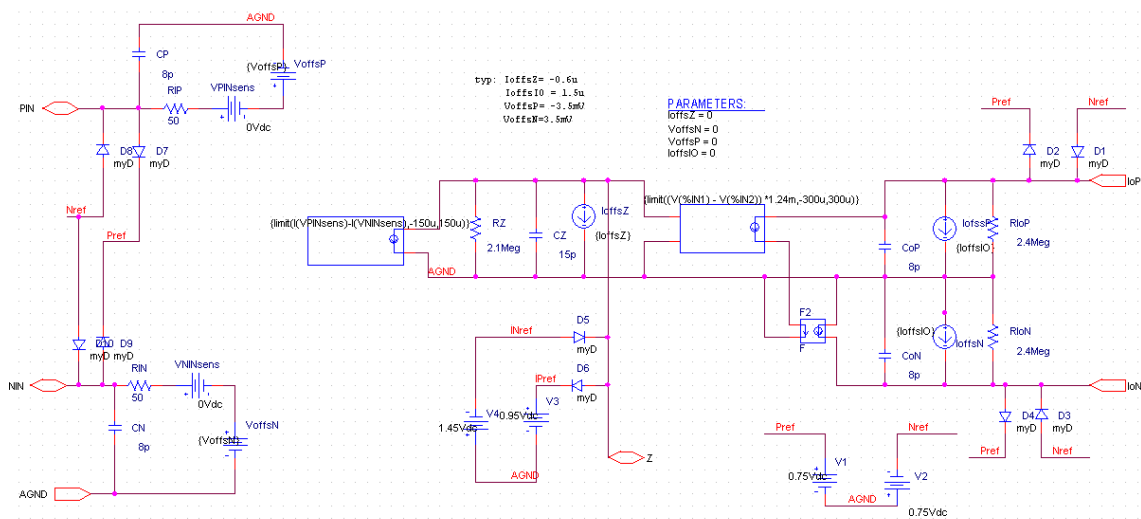
B1b. Vnitřní zapojení modelu CCTA_opa



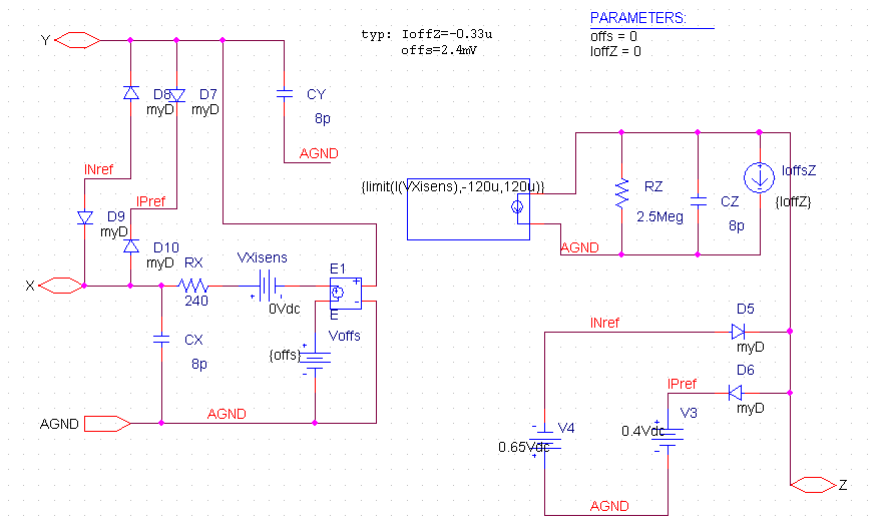
B1c. Vnitřní zapojení modelu CDTA_mirr



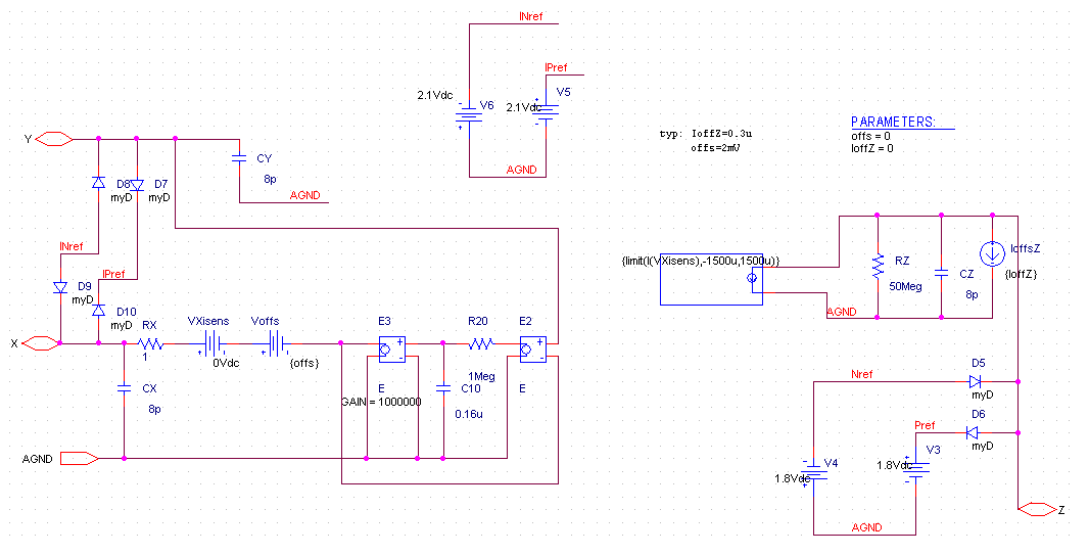
B1d. Vnitřní zapojení modelu CDTA_opa



B1e. Vnitřní zapojení modelu CCII+__{mirr}



B1f. Vnitřní zapojení modelu CCII+__{opa}



B2. Textový výpis knihovny CXTA.lib pro OrCAD Pspice

```
* PSpice Model Editor - Version 9.2

*$
* source CCTA & CDTA library
* measured params
*.PARAM offs=2mV IoffZ=0.3u
*-----
.subckt CCII+_opa X Y Z AGND params: offs=0 IoffZ=0
C_CZ      AGND Z 8p
D_D10     X IPREF myD
G_ABMI1   Z AGND VALUE { {limit(I(V_VXisens),-1500u,1500u)} }
R_RX      X N02517 1
R_RZ      AGND Z 50Meg
D_D9      INREF X myD
V_VXisens N02517 N02684 0Vdc
I_IoffsZ  Z AGND DC {IoffZ}
V_V5      IPREF AGND 2.1Vdc
V_V6      AGND INREF 2.1Vdc
E_E2      N005852 AGND Y N01005 1
D_D5      NREF Z myD
E_E3      N01005 AGND N00899 AGND 1000000
D_D6      Z PREF myD
C_CX      AGND X 8p
V_V3      PREF AGND 1.8Vdc
D_D7      Y IPREF myD
C_C10     AGND N00899 0.16u
V_Voffs   N02684 N01005 {offs}
V_V4      AGND NREF 1.8Vdc
D_D8      INREF Y myD
C_CY      AGND Y 8p
R_R20     N005852 N00899 1Meg
.model myD D(Is=2.682n Rs=.01 Cjo=0.1p)
.ends

*$
* source CCTA & CDTA library
* measured params
*.PARAM offs=2.4mV IoffZ=-0.33u
*-----
.subckt CCII+_mirr X Y Z AGND params: offs=0 IoffZ=0
C_CZ      AGND Z 8p
D_D10     X IPREF myD
G_ABMI1   Z AGND VALUE { {limit(I(V_VXisens),-120u,120u)} }
R_RX      X N02517 240
R_RZ      AGND Z 2.5Meg
D_D9      INREF X myD
V_VXisens N02517 N02684 0Vdc
I_IoffsZ  Z AGND DC {IoffZ}
E_E1      N02684 N07473 Y AGND 1
D_D5      INREF Z myD
D_D6      Z IPREF myD
C_CY      AGND Y 8p
C_CX      AGND X 8p
V_V3      IPREF AGND 0.4Vdc
D_D7      Y IPREF myD
V_Voffs   N07473 AGND {offs}
V_V4      AGND INREF 0.65Vdc
D_D8      INREF Y myD
.model myD D(Is=2.682n Rs=.01 Cjo=0.1p)
.ends

*$
* source CCTA & CDTA library
* measured params
*.PARAM VoffsP=-3.5m VoffsN=3.5m IoffsZ=-0.6u IoffsIO=1.5u
*-----
.subckt CDTA_opa PIN NIN Z IoN IoP AGND params: VoffsP=0 VoffsN=0 IoffsZ=0 IoffsIO=0
C_CZ      AGND Z 15p
F_F2      AGND ION VF_F2 1
VF_F2     N09307 AGND 0V
G_ABMI1   Z AGND VALUE { {limit(I(V_VPINsens)-I(V_VNINsens),-150u,150u)}}
V_V2      AGND NREF 0.75Vdc
R_RIP     PIN N22429 50
G_ABMI2I1 IOP N09307 VALUE { {limit((V(Z) - V(AGND)) *1.24m,-300u,300u)}}
R_RIN     NIN N02517 50
R_RZ      AGND Z 2.1Meg
I_IoffssP IOP AGND DC {IoffsIO}
V_VoffsP  N22169 AGND {VoffsP}
V_VNINsens N02517 N02684 0Vdc
D_D9      NIN PREF myD
I_IoffsZ  Z AGND DC {IoffsZ}
I_IoffsN  AGND ION DC {IoffsIO}
R_RIoP    AGND IOP 2.4Meg
R_RIoN    ION AGND 2.4Meg
```

```
C_CP          PIN AGND 8p
D_D5          INREF Z myD
C_CoP         AGND IOP 8p
D_D6          Z IPREF myD
D_D1          NREF IOP myD
C_CN          AGND NIN 8p
V_V3          IPREF AGND 0.95Vdc
C_CoN         ION AGND 8p
D_D7          PIN PREF myD
D_D2          IOP PREF myD
V_VoffsN      N02684 AGND {VoffsN}
V_V4          AGND INREF 1.45Vdc
D_D8          NREF PIN myD
D_D3          NREF ION myD
D_D10         NREF NIN myD
D_D4          ION PREF myD
V_VPINsens    N22429 N22169 0Vdc
V_V1          PREF AGND 0.75Vdc
.model myD D(Is=2.682n Rs=.01 Cjo=0.1p)
.ends

*$
* source CCTA & CDTA library
* measured params
*.PARAM VoffsP=-2.5m VoffsN=2.5m IoffsZ=1.8u IoffsIO=1.5u
*-----
.subckt CDTA_mirr PIN NIN Z IoN IoP AGND params: VoffsP=0 VoffsN=0 IoffsZ=0 IoffsIO=0
C_CZ          AGND Z 12p
F_F2          AGND ION VF_F2 1
VF_F2         N09307 AGND 0V
G_ABM11       Z AGND VALUE { {limit(I(V_VPINsens)-I(V_VNINsens),-125u,125u)}}
V_V2          AGND NREF 0.75Vdc
R_RIP         PIN N22199 260
G_ABM2I1      IOP N09307 VALUE { {limit((V(Z) - V(AGND)) *1.24m,-300u,300u)}}
R_RIN         NIN N02517 260
R_RZ          AGND Z 3.5Meg
I_IofssP      IOP AGND DC {IoffsIO}
V_VoffsP      N22169 AGND {VoffsP}
V_VNINsens    N02517 N02684 0Vdc
D_D9          NIN PREF myD
I_IoffsZ      Z AGND DC {IoffsZ}
I_IoffsN      AGND ION DC {IoffsIO}
R_RIoP        AGND IOP 2.4Meg
D_D10         NREF NIN myD
R_RIoN        ION AGND 2.4Meg
C_CP          PIN AGND 8p
D_D5          INREF Z myD
C_CoP         AGND IOP 8p
D_D6          Z IPREF myD
D_D1          NREF IOP myD
C_CN          AGND NIN 8p
V_V3          IPREF AGND 0.85Vdc
C_CoN         ION AGND 8p
D_D7          PIN PREF myD
D_D2          IOP PREF myD
V_VoffsN      N02684 AGND {VoffsN}
V_V4          AGND INREF 1.15Vdc
D_D8          NREF PIN myD
D_D3          NREF ION myD
D_D4          ION PREF myD
V_VPINsens    N22199 N22169 0Vdc
V_V1          PREF AGND 0.75Vdc
.model myD D(Is=2.682n Rs=.01 Cjo=0.1p)
.ends

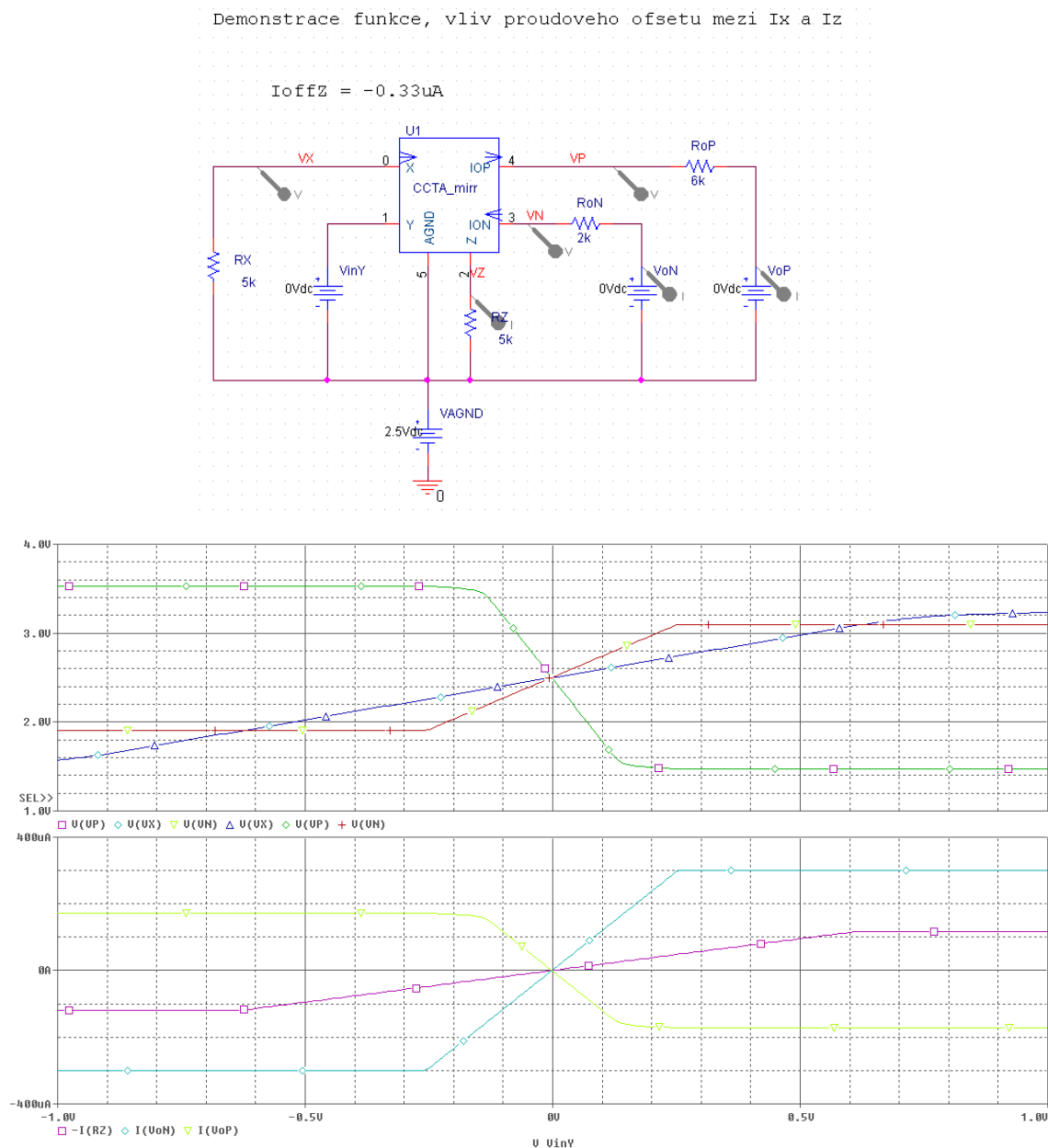
*$
* source CCTA & CDTA library
*measured offsets
*.PARAM IoffY=0.45u IoffZ=1.6u offs=-0.36m IoffIO=1.5u
*-----
.subckt CCTA_opa X Y Z IoN IoP AGND params: IoffY=0 IoffZ=0 IoffIO=0 offs=0
C_CZ          AGND Z 11p
F_F2          AGND ION VF_F2 1
VF_F2         N09307 AGND 0V
E_E1          N02684 N07473 N00322 AGND 1
F_F1          AGND Y VF_F1 1
VF_F1         Z N00790 0V
G_ABM11       N00790 AGND VALUE { {limit(I(V_VXisens),-3500u,3500u)} }
V_V2          AGND NREF 0.75Vdc
G_ABM2I1      IOP N09307 VALUE { {limit((V(Z) - V(AGND)) *1.24m,-300u,300u)}}
C_C1          AGND N00322 0.16n
R_RX          X N02517 15
R_RZ          AGND Z 5.2Meg
I_IofssP      IOP AGND DC {IoffIO}
V_VXisens     N02517 N02684 0Vdc
D_D9          X IPREF myD
I_IoffsZ      Z AGND DC {IoffZ}
I_IoffsN      AGND ION DC {IoffIO}
```

```
R_RIoP      AGND IOP  2.4Meg
R_R2        N15192 N00322 1k
D_D10       INREF X myD
R_RIoN      ION AGND  2.4Meg
C_CY        Y AGND  8p
D_D5        INREF Z myD
C_CoP       AGND IOP  8p
R_RY        Y AGND  5.2Meg
D_D6        Z IPREF myD
D_D1        NREF IOP myD
C_CX        AGND X  8p
I_IoffsY    Y AGND DC {IoffY}
V_V3        IPREF AGND 1.9Vdc
C_CoN       ION AGND  8p
D_D7        Y IPREF myD
D_D2        IOP PREF myD
V_Voffs     N07473 AGND {offs}
V_V4        AGND INREF 1.9Vdc
D_D8        INREF Y myD
D_D3        NREF ION myD
D_D4        ION PREF myD
E_E3        N15192 AGND Y AGND 1
V_V1        PREF AGND 0.75Vdc
.model myD D(Is=2.682n Rs=.01 Cjo=0.1p)
.ends

*$
* source CCTA & CDTA library
*measured offsets
*PARAM IoffY=0.8u IoffZ=-0.33u IoffIO=1.5u offs=2.4m
*-----
.subckt CCTA_mirr X Y Z IoN IoP AGND params: IoffY=0 IoffZ=0 IoffIO=0 offs=0
C_CZ        AGND Z  8p
F_F2        AGND ION VF_F2 1
VF_F2       N09307 AGND 0V
F_F1        AGND Y VF_F1 1
VF_F1       Z N00790 0V
D_D10       X IPREF myD
G_ABMI1     N00790 AGND VALUE { {limit(I(V_VXisens),-120u,120u)} }
V_V2        AGND NREF 0.75Vdc
G_ABM2I1    IOP N09307 VALUE { {limit((V(Z) - V(AGND)) *1.24m,-300u,300u)}}
R_RX        X N02517 240
R_RZ        AGND Z  2.5Meg
I_IoffsP    IOP AGND DC {IoffIO}
D_D9        INREF X myD
V_VXisens   N02517 N02684 0Vdc
I_IoffsZ    Z AGND DC {IoffZ}
I_IoffsN    AGND ION DC {IoffIO}
R_RIoP      AGND IOP  2.4Meg
R_RIoN      ION AGND  2.4Meg
E_E1        N02684 N07473 Y AGND 1
C_CY        Y AGND  8p
D_D5        INREF Z myD
C_CoP       AGND IOP  8p
R_RY        Y AGND  2.5Meg
D_D6        Z IPREF myD
D_D1        NREF IOP myD
C_CX        AGND X  8p
I_IoffsY    Y AGND DC {IoffY}
V_V3        IPREF AGND 0.4Vdc
C_CoN       ION AGND  8p
D_D7        Y IPREF myD
D_D2        IOP PREF myD
V_Voffs     N07473 AGND {offs}
V_V4        AGND INREF 0.65Vdc
D_D8        INREF Y myD
D_D3        NREF ION myD
D_D4        ION PREF myD
V_V1        PREF AGND 0.75Vdc
.model myD D(Is=2.682n Rs=.01 Cjo=0.1p)
.ends
*$
```

B3. Vzorové simulační profily pro OrCAD PSpice

B3a. Schéma: sim_CCTA_mirr_dc, simulační profil: CCTA_mirr_dc

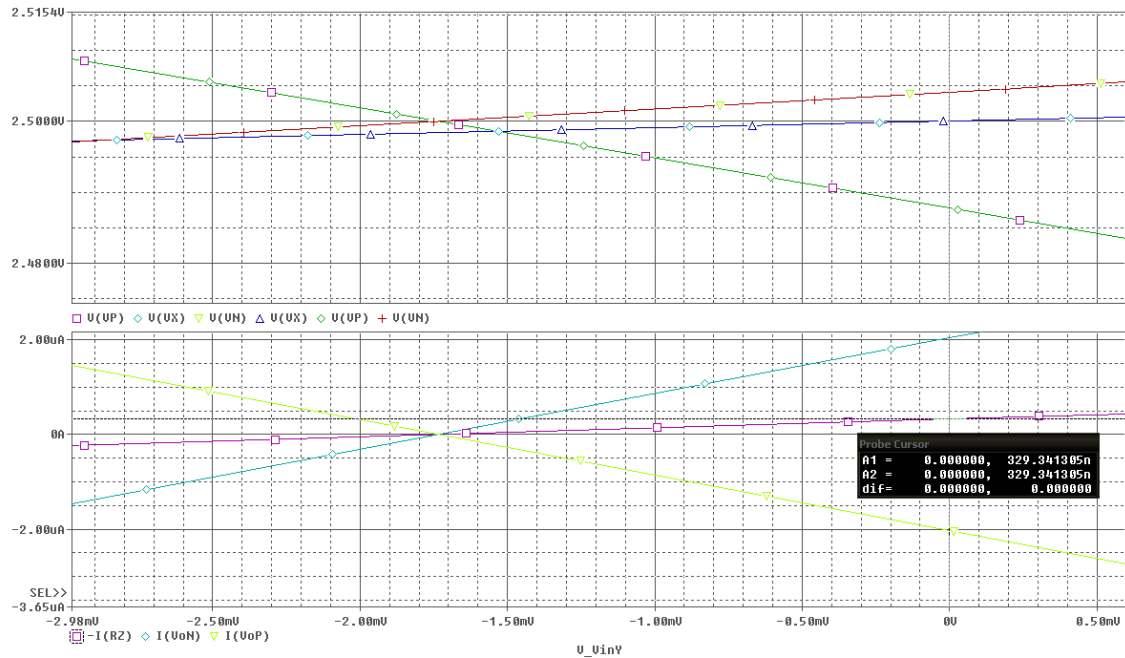


Jedná se o DC simulaci, kde je krokováno napětí zdroje V_{inY} v rozmezí $(-1V \div 1V)$

Proudový zisk daného zapojení je $B = R_Z * g_{m_{int}} = 5 \text{ k}\Omega * 1.24 \text{ mA/V} = 6.2$, čemuž odpovídá poměr sklonu charakteristik $I(VoP)$ a $I(RZ)$. Na průběhu $I(VoN)$ je patrné omezení max. výstupního proudu $300 \mu A$. Stejný limit má také $I(VoP)$, který je v této simulaci omezen maximálním výstupním napětím (velký úbytek na odporu $R_oP = 6 \text{ k}\Omega$), jak je vidět na průběhu $V(VP)$. Proudové omezení je patrné také na svorce Z, a to $I(RZ)_{max} = 120 \mu A$. Svorka Z má samozřejmě také modelováno napěťové omezení. Simulace potvrzuje funkčnost všech těchto limitací, které přibližují vlastnosti behaviorálního modelu reálným prvkům.

Vliv nastaveného offsetu proudu svorky Z (parametr modelu) je patrný při zvětšení průběhu v dalším grafu.

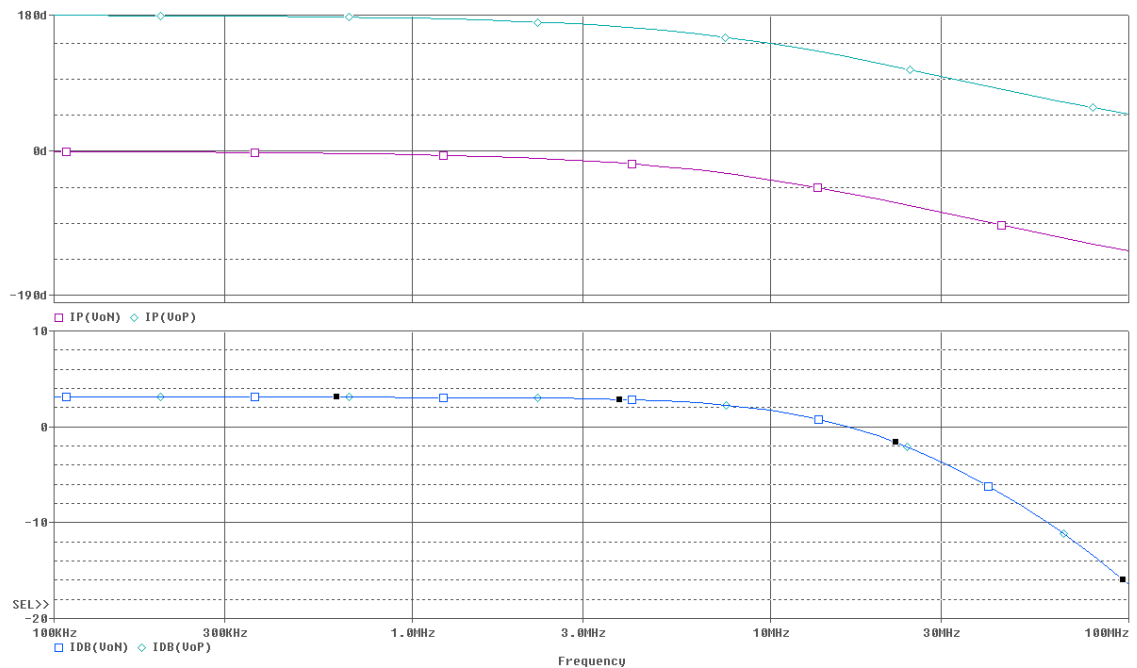
Zobrazení vlivu proudového offsetu mezi vstupem X a výstupem Z



Ve spodním grafu je patrné, že při vstupním napětí $V(VinY)=0V$, kterému odpovídá vstupní proud $I(X)=0$, má proud svorkou Z (označený $I(RZ)$) hodnotu 329.34nA. Drobná odchylka od nastavených 330nA je způsobena parazitním odporem.

Model umožňuje přímo ve schématickém editoru Capture přímo nastavovat a modelovat další typy nesymetrií. Změřené skutečné hodnoty těchto nesymetrií jsou uvedeny přímo v knihovně CxTA.lib.

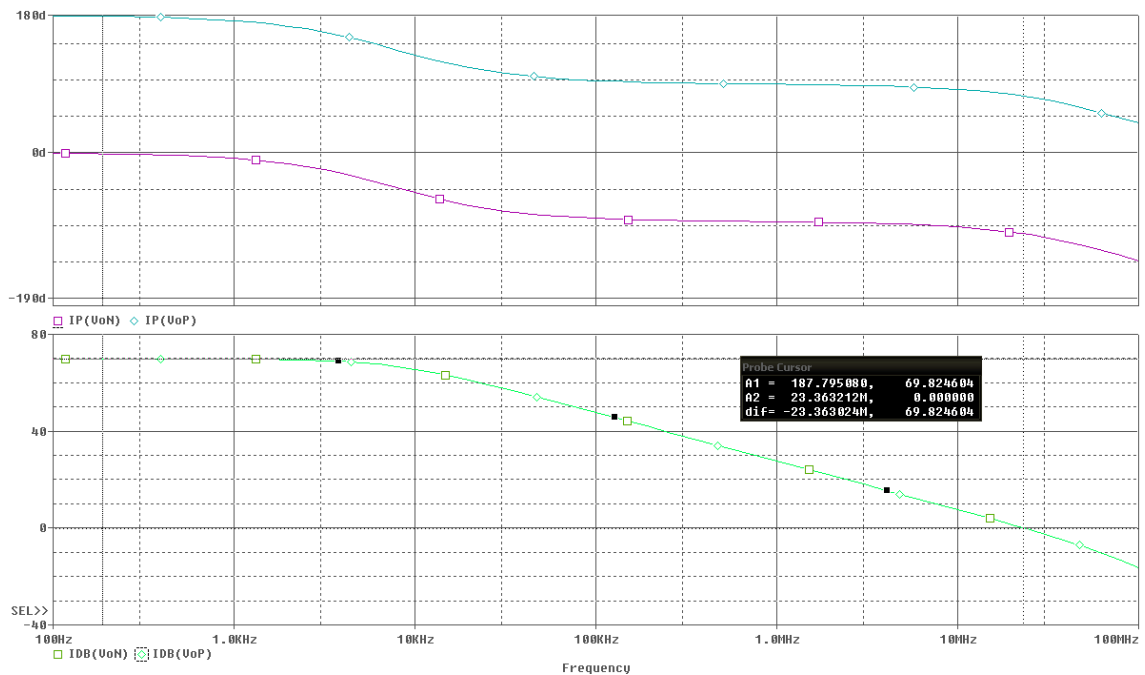
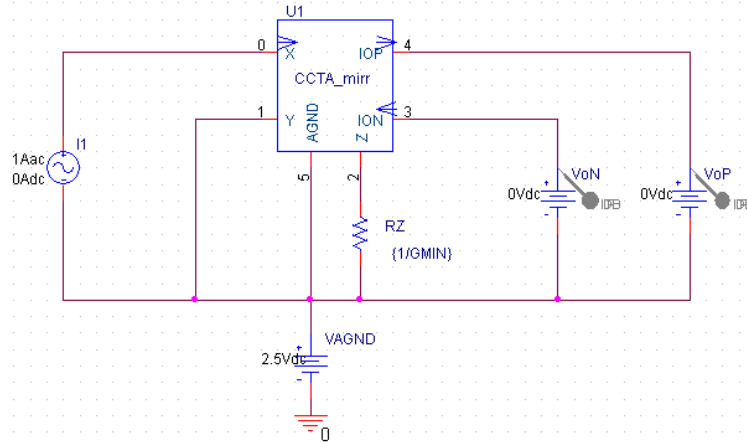
B3b. Schéma: sim_CCTA_mirr_ac3dB, simulační profil: CCTA_3dB



B3c. Schéma: sim_CCTA_mirr_acloop, simulační profil: CCTA_olooop

Prenos rozpojené smyčky CCTA s maximálním ziskem
(RZ --> nekonečno)

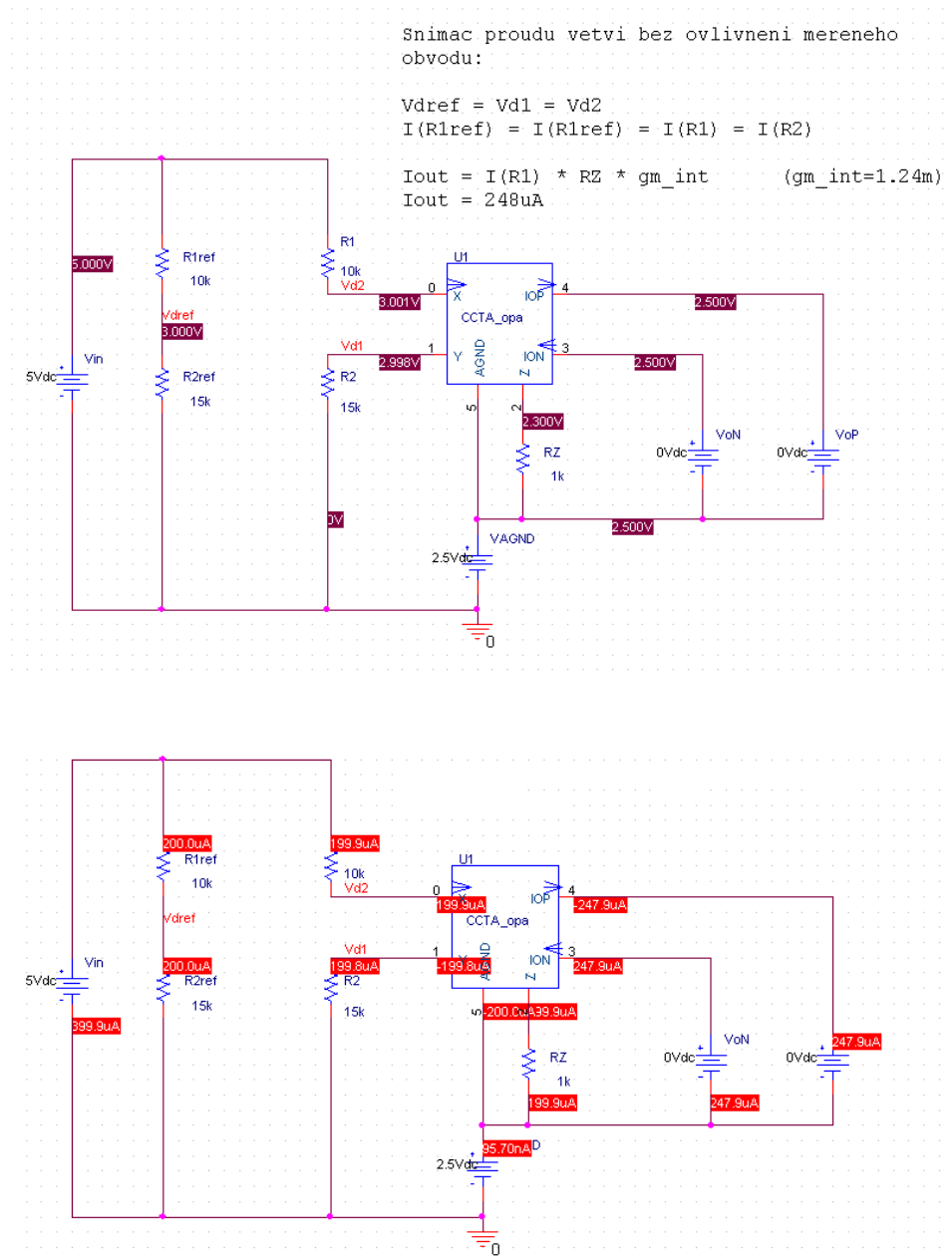
$$A_{max} = 20 \log (RZ_{int} * gm) = 20 \log (2.5Meg * 1.24m) = 69.83 \text{ dB}$$



Simulace přenosu rozpojené smyčky obvodu CCTA s topologií založenou na principu proudových zrcadel. Souřadnice kurzorů odpovídají stejnosměrnému proudovému zesílení $B_0 = 69.824 \text{ dB}$ a tranzitnímu kmitočtu $GBW = 23.36 \text{ MHz}$.

Fázová bezpečnost kolem 70° odpovídá návrhovým simulacím v prostředí Cadence.

B3d. Schéma: sim_CCTA_opa_probe, simulační profil: CCTA_prober

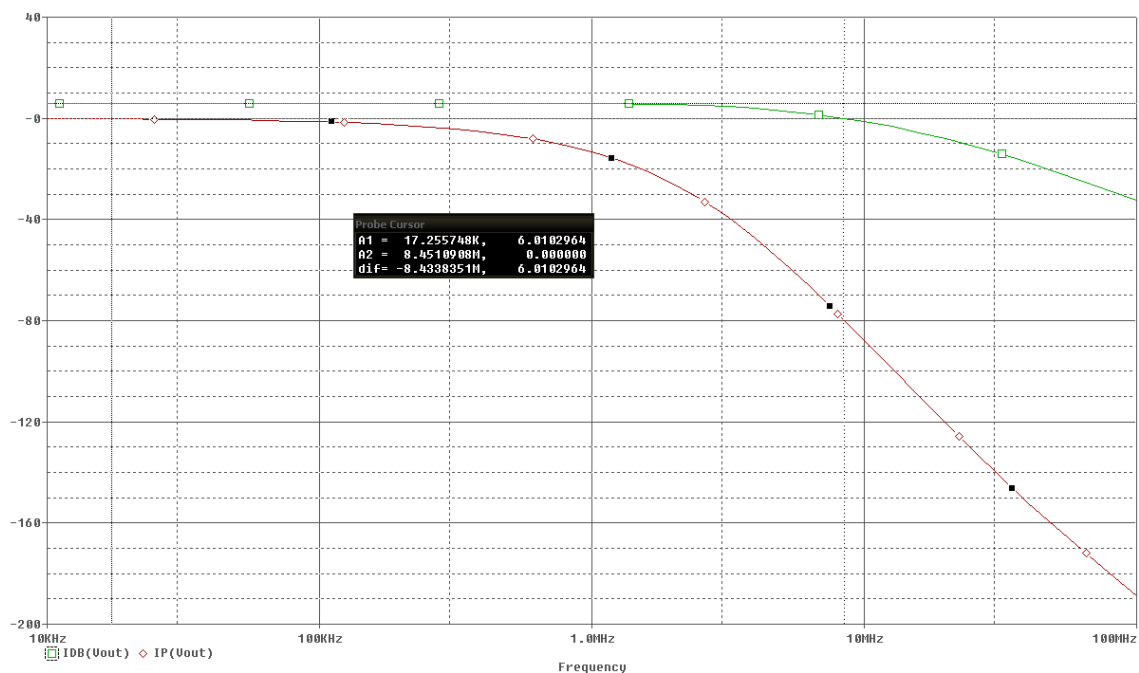
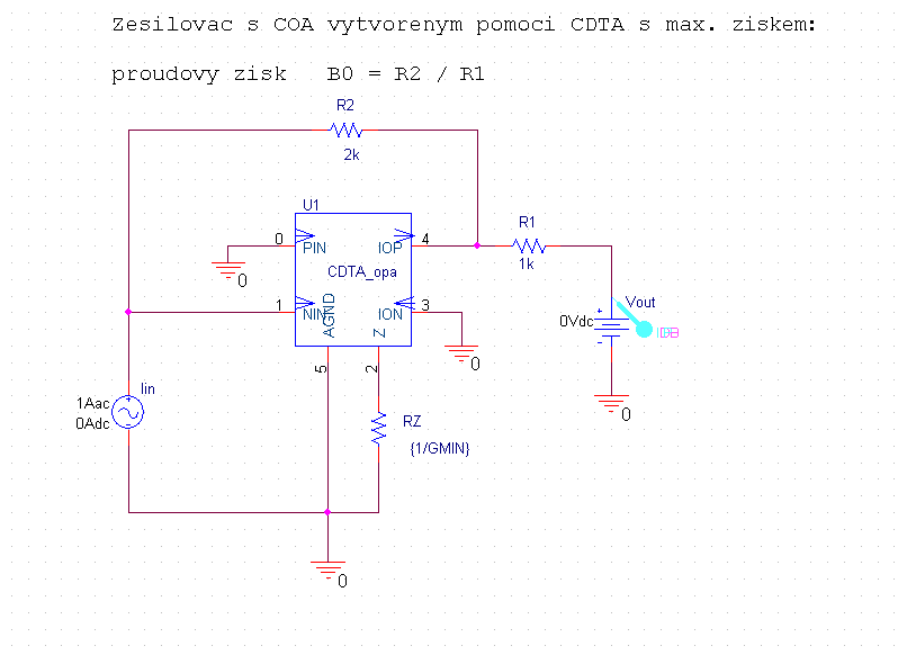


Simulace ukazuje zcela *unikátní* využití obvodu CCTA jako proudové sondy, která v ideálním případě neovlivní poměry měřeného obvodu. Předvedeno na odporovém děliči. Napětí na odporech i proud děličem zůstává nezměněno, odchylky jsou způsobeny vstupními odpory aktivního obvodu. Výstupní proud může být zesílen nebo i jinak zpracován (např. filtrován) dle povahy impedance připojené na svorku Z.

Na prvním obrázku jsou zobrazeny napěťové poměry dle PSpice „Bias“ analýzy, dole odpovídající proudy v obvodu.

Analogicky k napětovému módu, kde je vstupní napětí nulové, zde můžeme sledovat ideálně nulový proud do vstupní svorky NIN. Proud 23nA odpovídá konečnému zesílení aktivního obvodu.

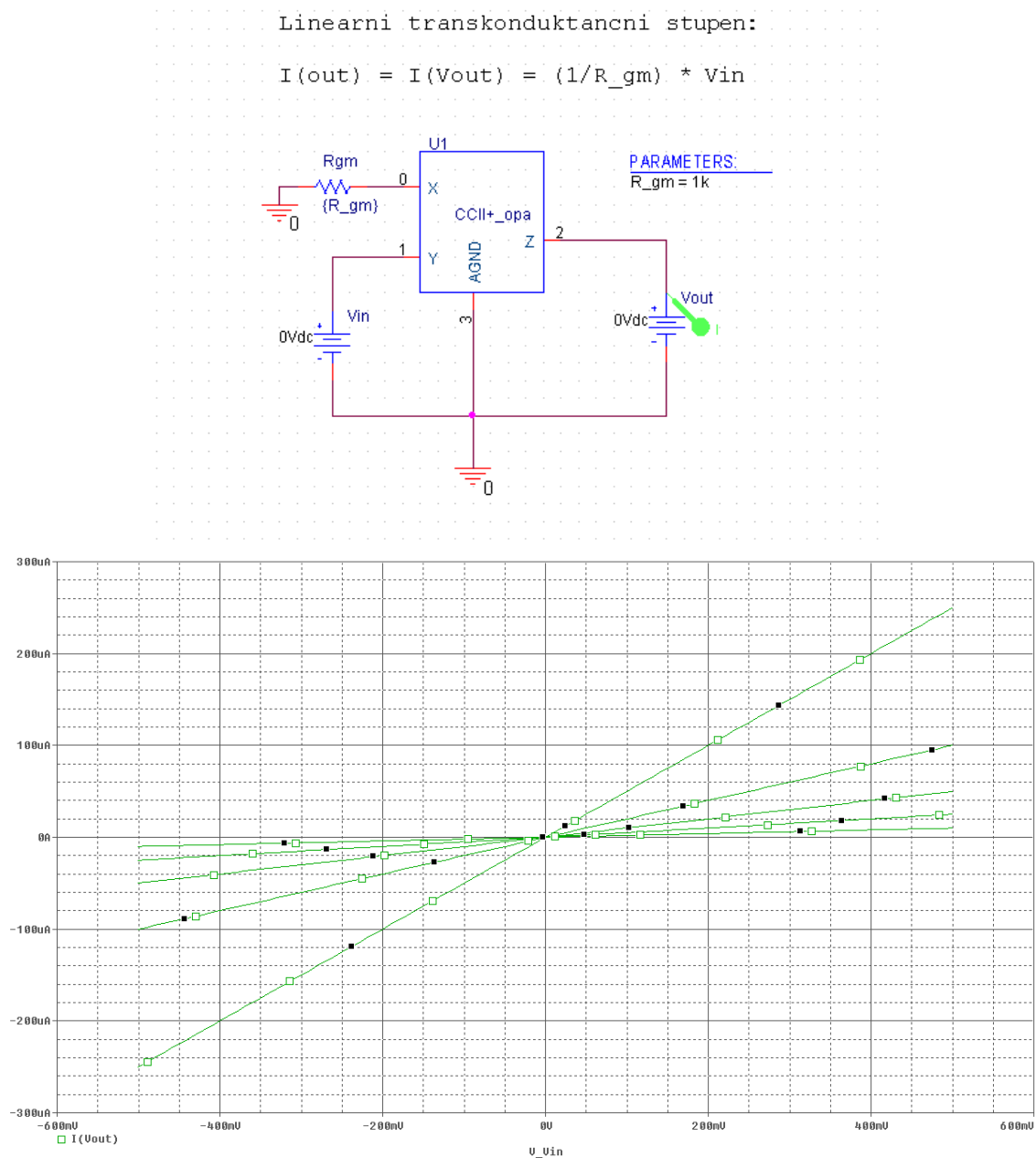
B3f. Schéma: sim_CDTA_opa_COAac, simulační profil: CDTA_COAac



Simulace kmitočtové přenosové charakteristiky invertujícího proudového zesilovače se zesílením 2, navrženého pomocí obvodu CDTA s využitím jeho maximálního zisku.

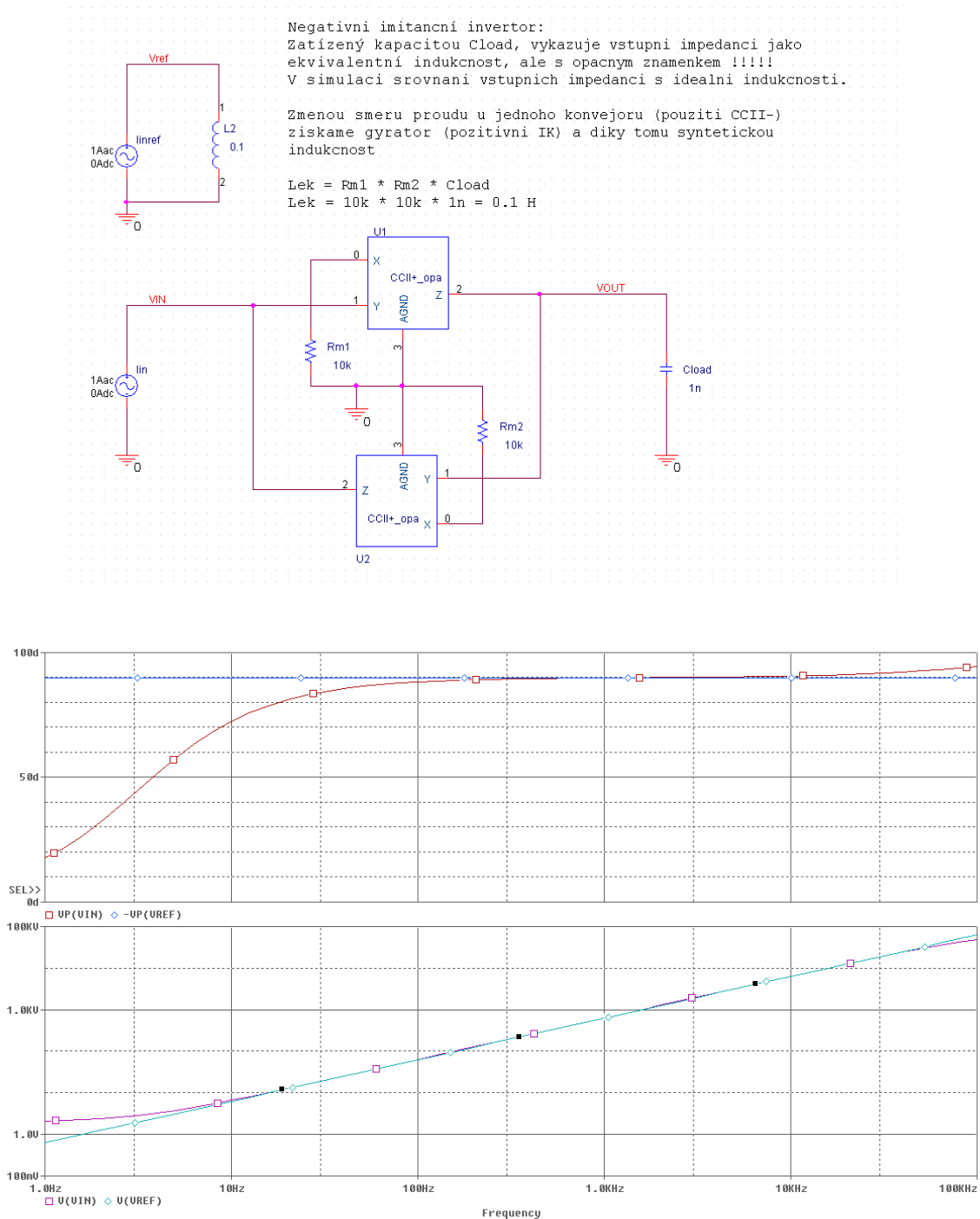
$$\text{Zisk } B_0 = 6\text{dB}$$

B3g. Schéma: sim_CC+_opa_tunGM, simulační profil: CCII+_GM



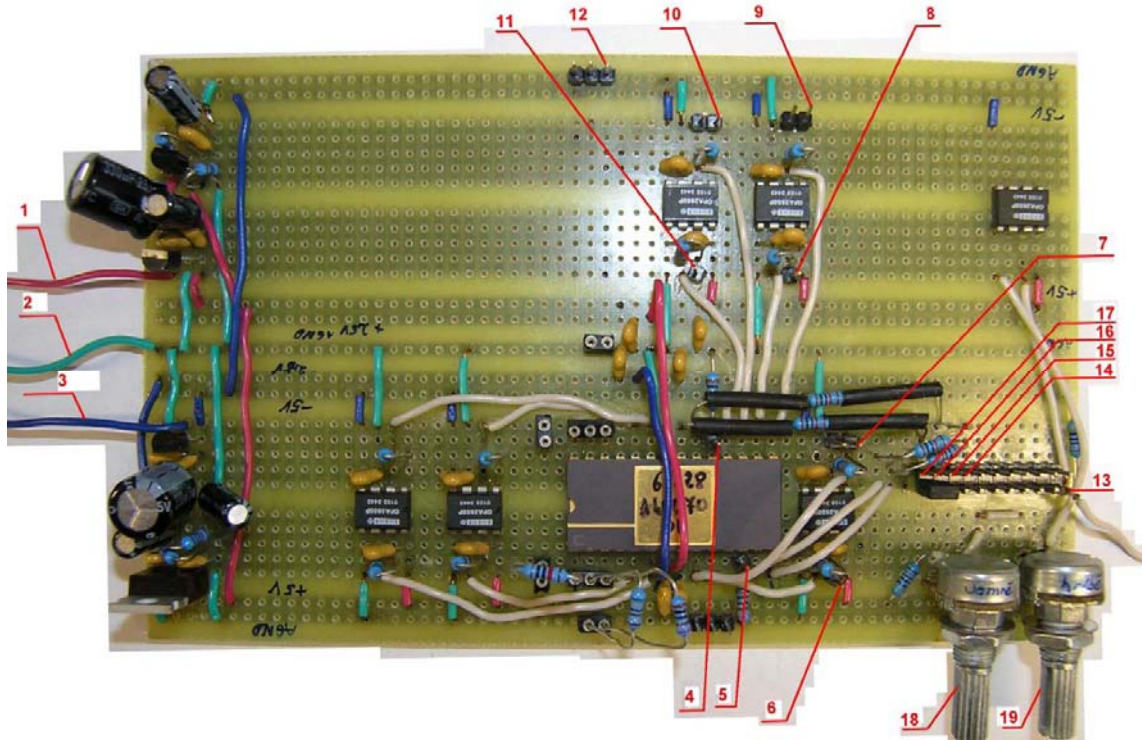
Zapojení proudového konveju CCII+ jako transkonduktančního stupně s parametrem gm řízeným externí impedancí připojenou na svorku Z. Výstupní charakteristiky demonstrují změnu strmosti převodní charakteristiky $I_{\text{out}} = gm * V_{\text{in}}$ v závislosti na krokování odporu R_{gm} . Zároveň ukazují výbornou linearitu tohoto řešení.

B3h. Schéma: sim_CCII+opa_Xinv, simulační profil: CCII+_sL



Zapojení dvou konvejeorů CCII+ jako negativního imitančního invertoru zatíženého kapacitou 1nF. V simulaci je provedeno srovnání s odpovídající ideální indukčností 0.1H. Vstupní impedance obvodu má shodnou amplitudovou charakteristiku jako odpovídající indukčnost, ale opačnou fází. Zapojení funguje velmi dobře v rozsahu kmitočtů od 100Hz do 100kHz. Na vyšších kmitočtech je limitováno mezním kmitočtem aktivního prvku, na nízkých maximálním zpracovávaným proudem při nízkých hodnotách vstupní impedance.

C1. Fotografie a popis měřicí desky



Napájení

1. kladné napájecí napětí pro pomocné OZ - napětí +8V – stabilizováno na +5V.
2. AGND
3. záporné napájecí napětí pro pomocné OZ – napětí -8V – stabilizováno na -5V.

Popis měřících vývodů – odpovídá schématu zapojení desky

4. VZ3
5. VZ4
6. V_ION4
7. V_IOP4
8. V_ION2_3
9. V_IOP2_3
10. V_ION1_3
11. V_IOP1_3
12. AGND
13. na tomto konektoru je možné měnit napětí od -2,5 - +2,5 V pomocí potenciometrů 18 a 19 pomocí spojky (jumperu) lze přenést na druhou část konektoru, kdy je využíváno pro proudové buzení vstupů přes rezistory 10K
14. Buzení vstupu PIN4
15. Buzení vstupu NIN4
16. Buzení vstupu PIN3
17. Buzení vstupu NIN3
18. Potenciometr pro jemné ladění napětí na konektoru 13
19. Potenciometr pro hrubé ladění napětí na konektoru 13

C2. Schéma zapojení měřicí desky

