

IC設計所
Institute of Integrated Circuit Design

具曲率補償與數位 PVT 補償之寬溫度範圍雙輸出帶隙參考電路

學生：黃子羿、黃金玄、黎品君

指導教授：李宗哲

摘要

本專題提出一種利用碗型曲率補償器 (Bowl-shaped Curvature Compensator, BCC) 與數位 PVT 偵測器 (digital PVT Detector) 以改善溫度係數的雙輸出帶隙參考電路 (BGR)。兩組 BCC 產生兩組碗型電流，用來對 BGR 的兩個輸出進行曲率補償。數位 PVT 偵測器產生 13 組數位控制訊號，以校準 BGR 的電流鏡電晶體，並改善抵抗 PVT 變異時的溫度係數。所提出的設計採用 TSMC 0.18 μm BCD 製程實現。核心面積為 $302.56 \times 269.29 \mu\text{m}^2$ 。在 -40°C 至 125°C 的範圍內，模擬輸出基準電壓分別為 0.7 V 與 1.41 V，平均溫度係數分別為 6.7 ppm/ $^\circ\text{C}$ 與 6.32 ppm/ $^\circ\text{C}$ 。經 BCC 與 PVT 補償後，使電路在無需外部微調的情況下，仍能確保在不同製程變異下的電壓穩定性。

電路圖及晶片佈局圖

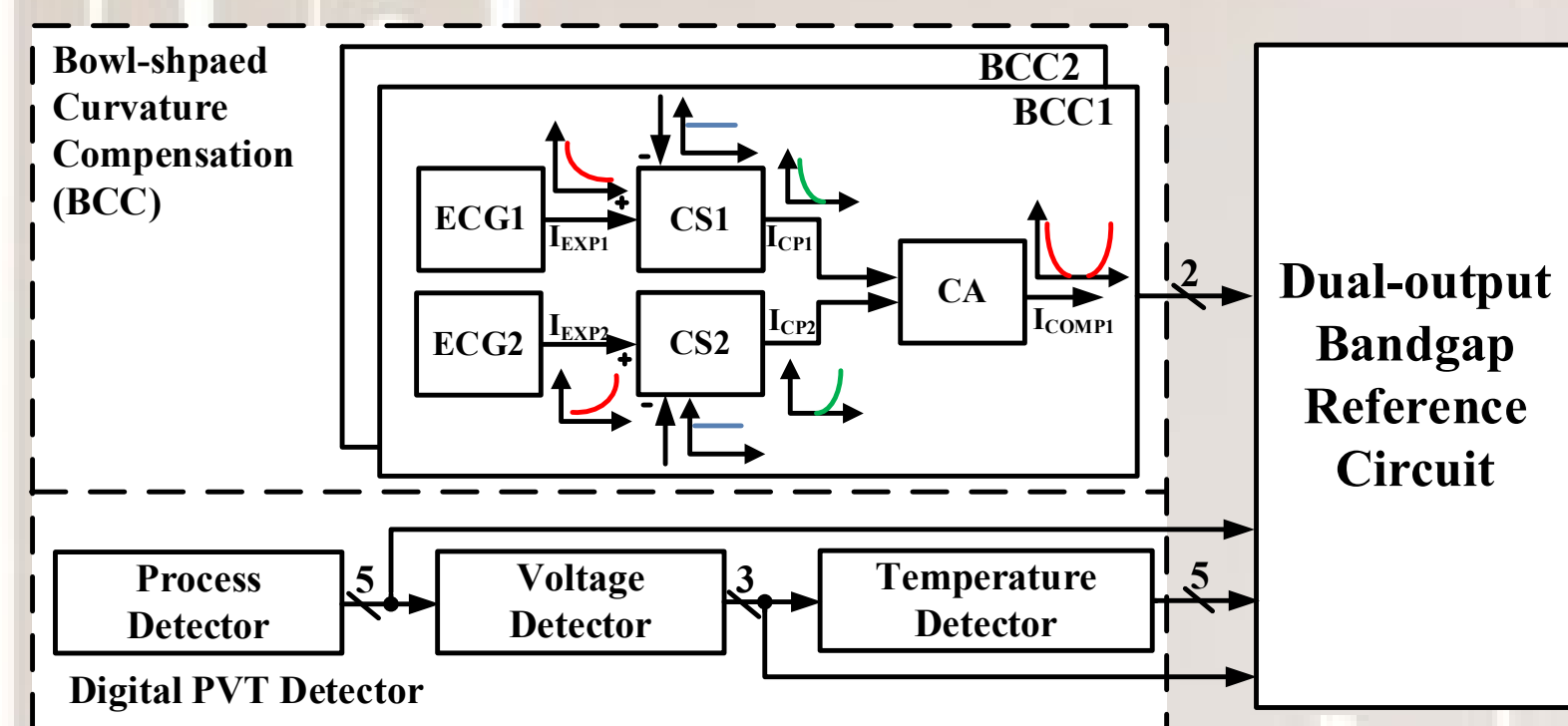


圖 1、具曲率補償與數位 PVT 補償之寬溫度範圍雙輸出帶隙參考電路圖

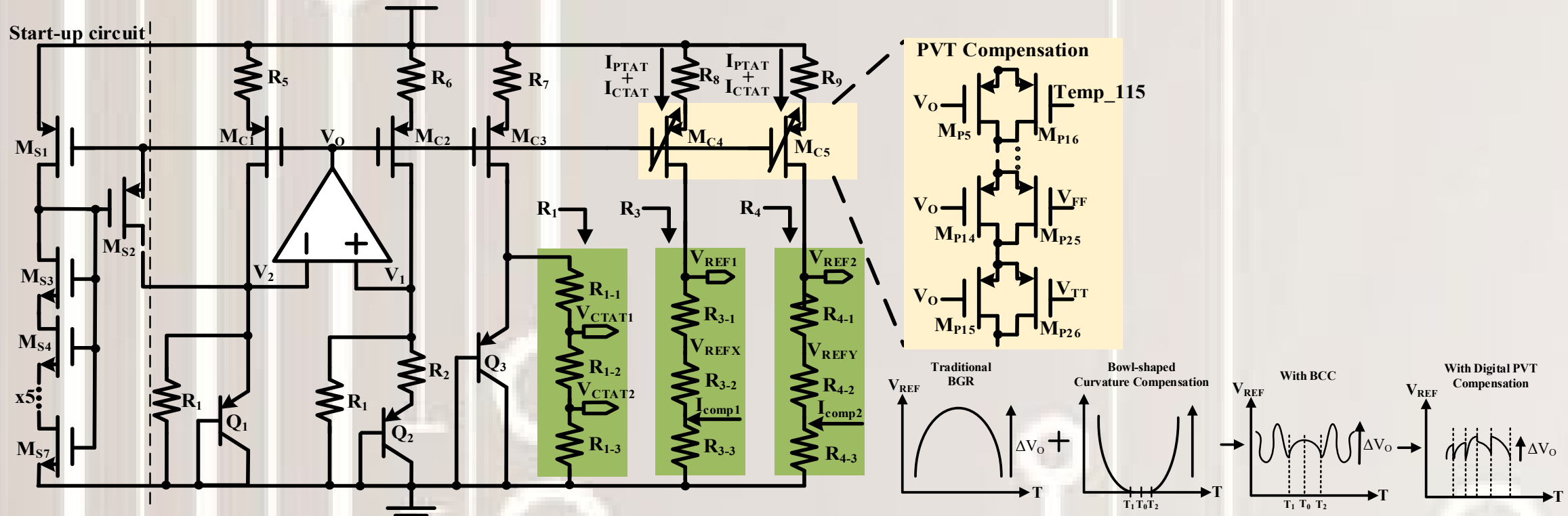


圖 2、雙輸出帶隙參考電路

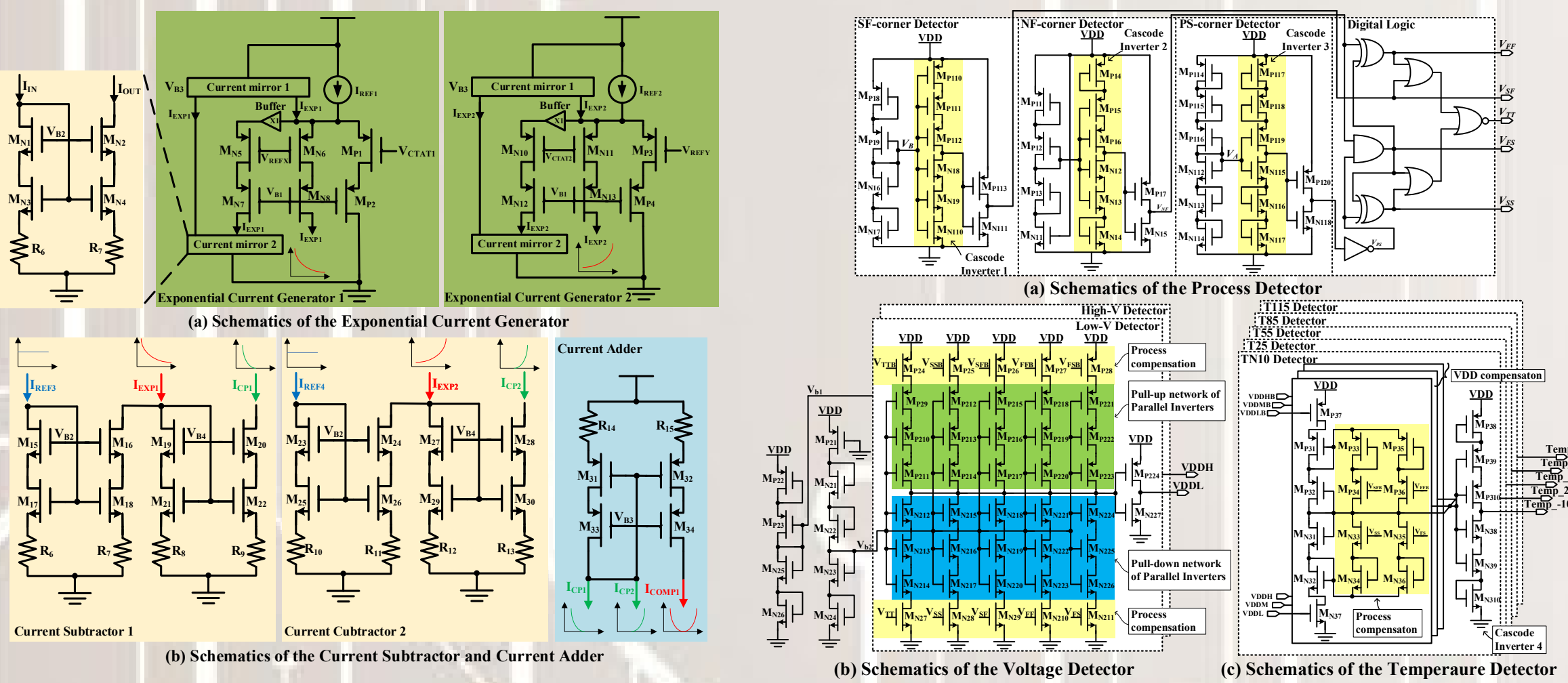


圖 3、PVT 補償電路

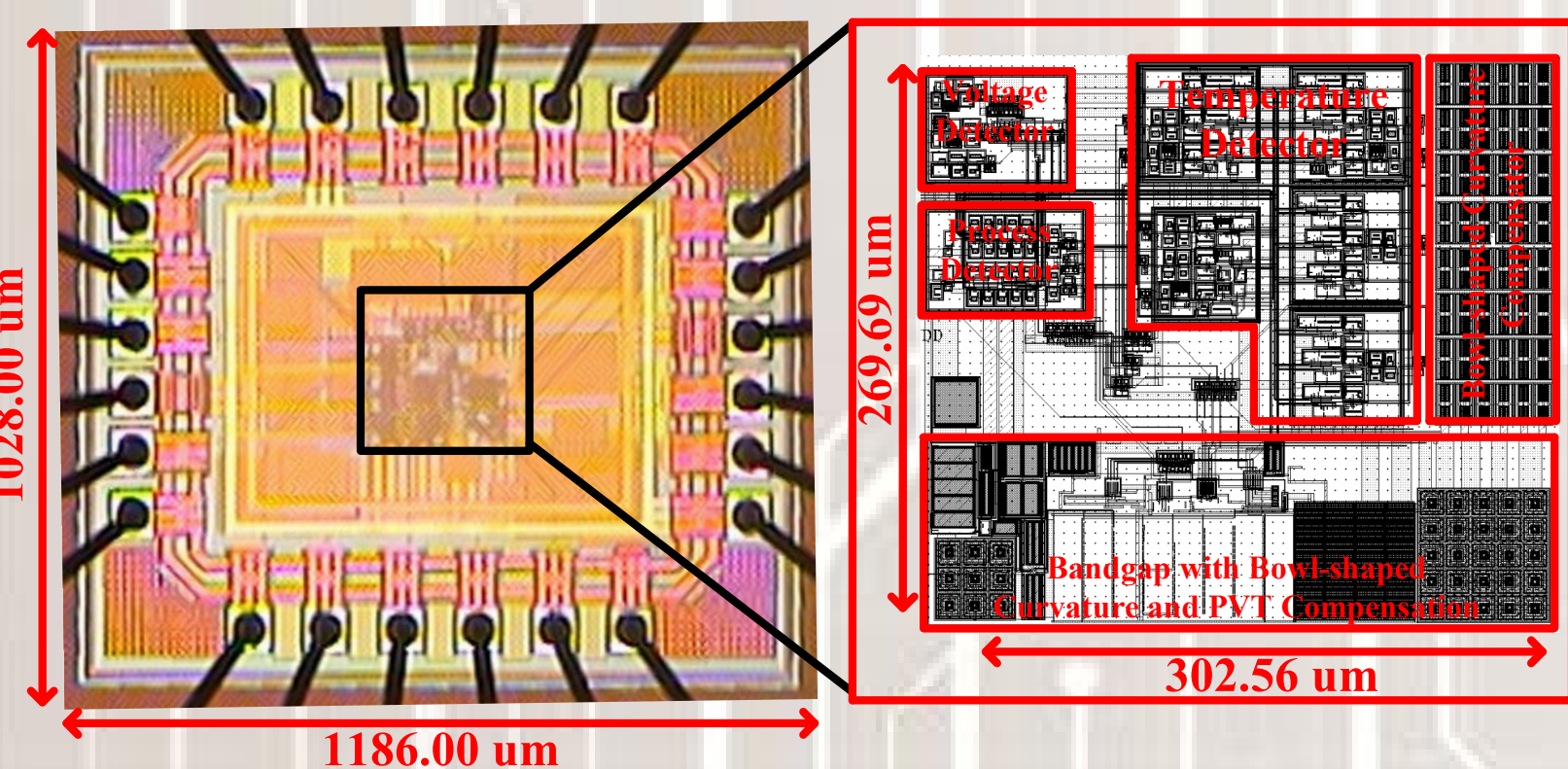


圖 4、晶片佈局圖

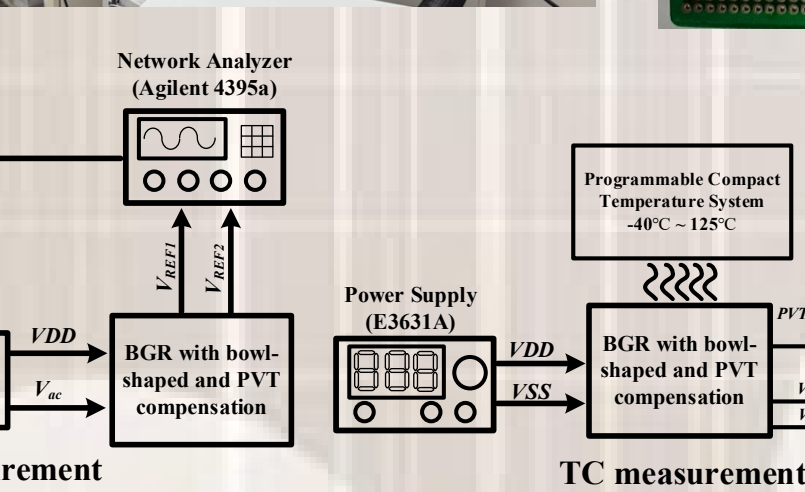
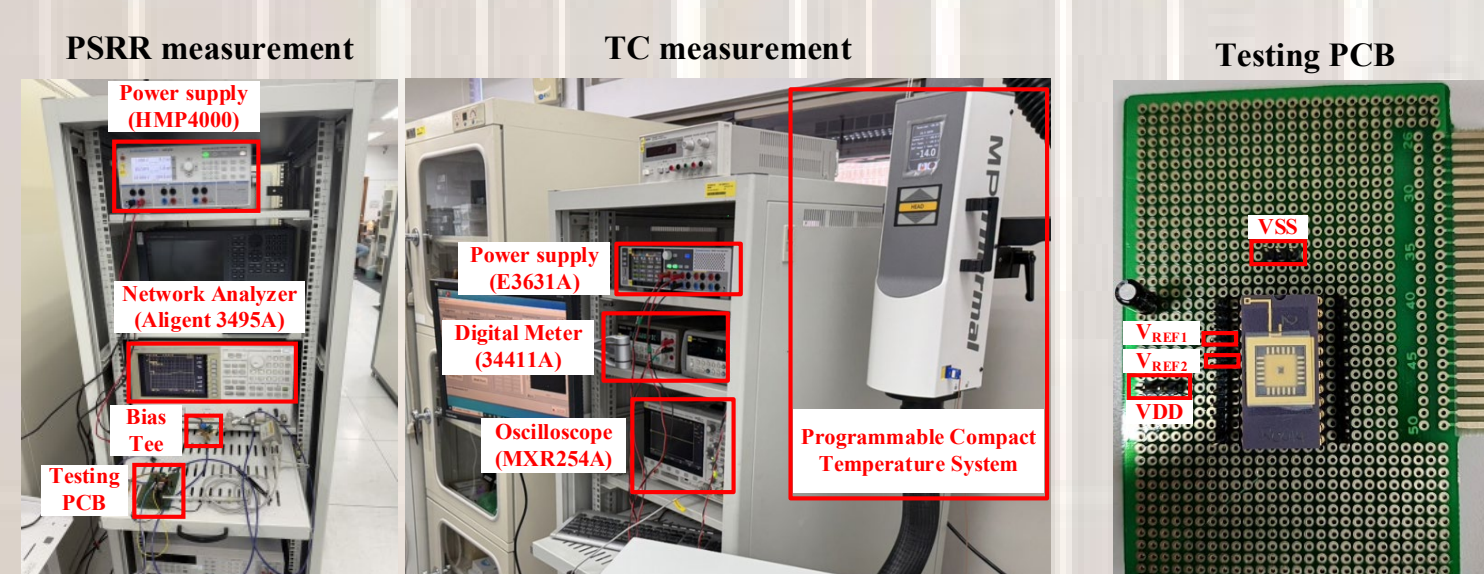


圖 5、量測環境

量測結果及規格比較表

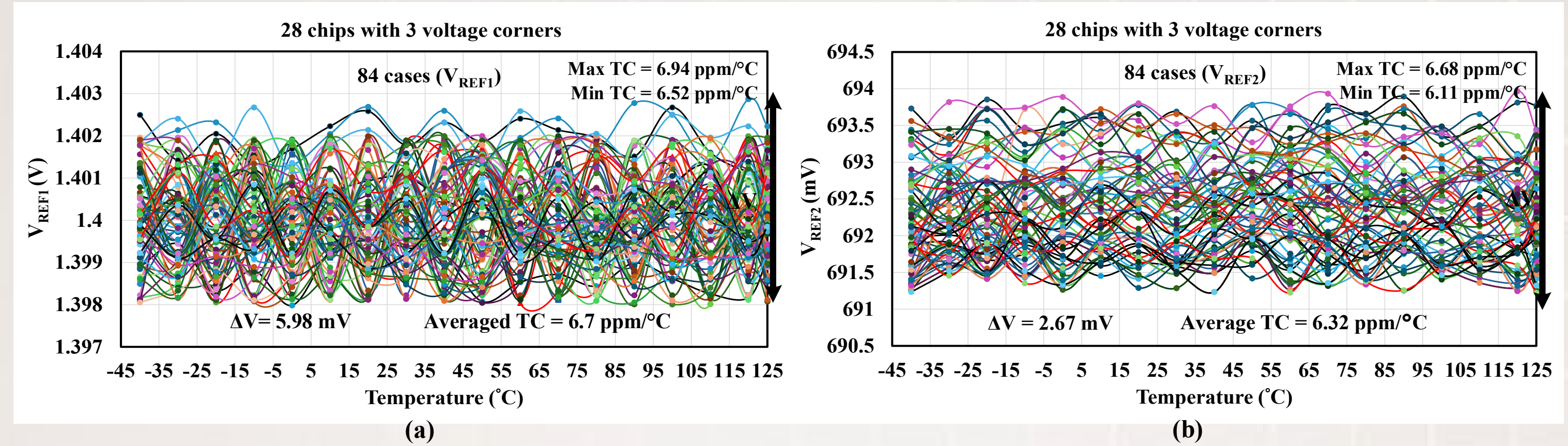
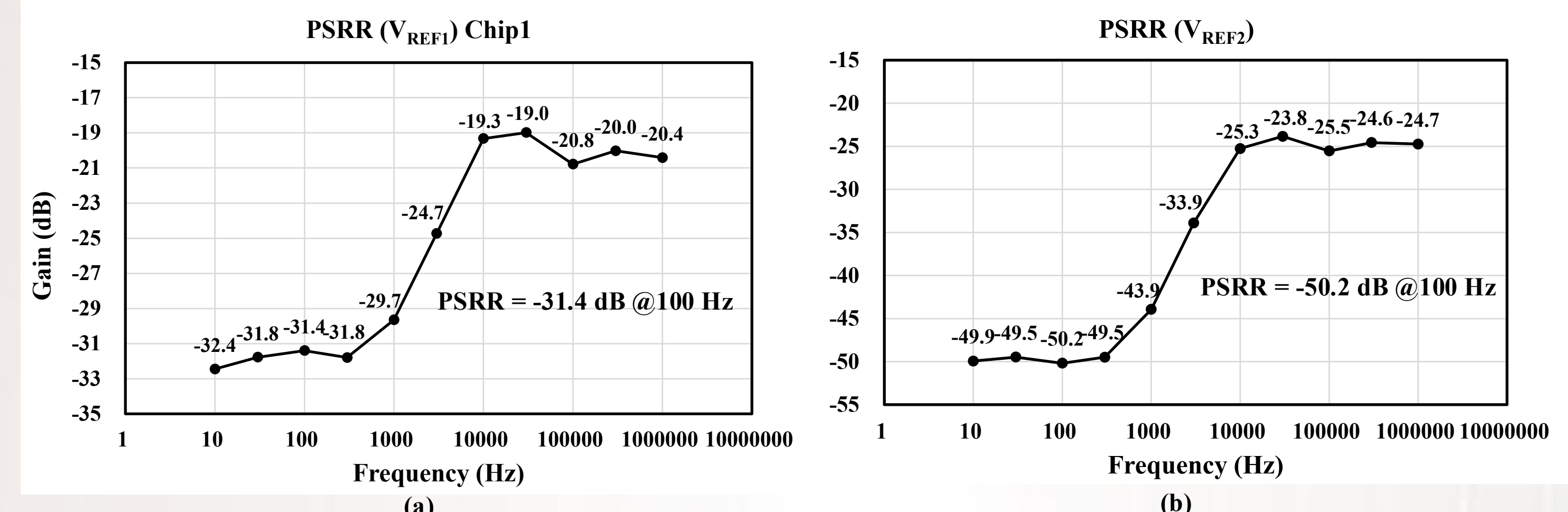
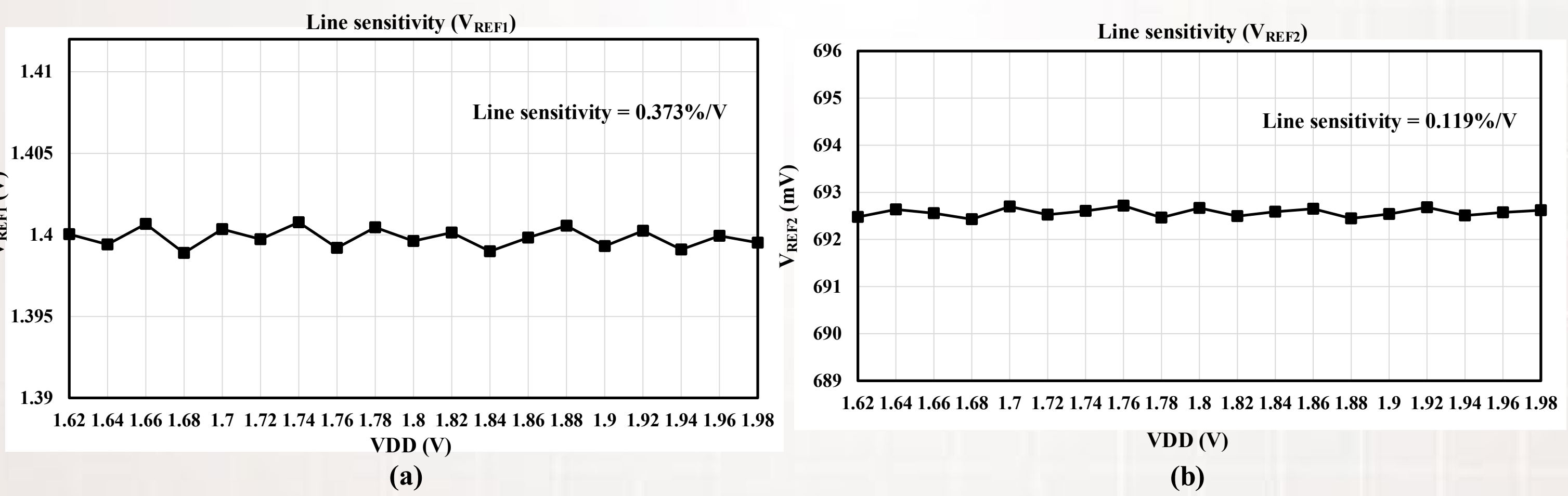
圖 6(a) 與圖 6(b) 為雙輸出帶隙參考電路 28 顆 Chip 量測結果，分別將 V_{REF1} 與 V_{REF2} 在 VDD 典型值與 $\pm 10\%$ 下進行量測，總計 84 組測試樣本。電壓差為 5.98 mV 與 2.67 mV。其中平均 TC 分別為 6.7 ppm/ $^\circ\text{C}$ 與 6.32 ppm/ $^\circ\text{C}$ 。圖 7(a) 與圖 7(b) 為 V_{REF1} 與 V_{REF2} 的 PSRR 量測結果。在 100 Hz 的頻率下，其中 PSRR 分別為 -31.4 dB 與 -50.2 dB。圖 8(a) 與圖 8(b) 為 V_{REF1} 與 V_{REF2} 的線性靈敏度量測結果。在 1.62V 至 1.98 V 的電源電壓範圍內， V_{REF1} 與 V_{REF2} 線性靈敏度分別為 0.373 %/V 與 0.119 %/V

表 1、規格比較表

Parameters	[11]	[12]	[13]	[15]	[10]	[16]	[17]	[18]	[19]	This work
Year	2021	2021	2023	2024	2024	2024	2025	2025	2025	2026
Publication	TCAS-II	TCAS-II	TCAS-II	JSSC	TCAS-I	TCAS-II	TCAS-II	TCAS-II	TVLSI	APCAS
Process (nm)	180 CMOS	180 CMOS	65 CMOS	65 CMOS	180 CMOS	22 FDSOI	180 CMOS	180 CMOS	180 CMOS	180 CMOS
Implementation	Measurement	Measurement	Measurement	Measurement	Measurement	Measurement	Measurement	Measurement	Measurement	Measurement
Major component	MOS	MOS	BJT	BJT	BJT	MOS	MOS	MOS	MOS	BJT
VDD (V)	3.3	2	0.5	2.5	1.8	1.2	5	1	3	1.62-1.98
VDD $\pm 10\%$	No	No	No	No	No	No	No	No	No	Yes
Temp. range ($^\circ\text{C}$)	-40 to 85	-45 to 125	-25 to 85	-45 to 120	-45 to 125	-40 to 120	-40 to 125	-40 to 125	-40 to 125	-40 to 125
VREF (V)	0.985	1.2	0.237	1.001	0.6	1.18	0.524	0.645 & 0.195	0.39	1.41 & 0.7
TC (untrimmed) (ppm/ $^\circ\text{C}$)	170.8 to 433.3	35.6 ^a	-	22.3	6.76 ^a	-	7.9 ^a	-	200 ^a	6.7 ^a & 6.32 ^a
TC (trimmed) (ppm/ $^\circ\text{C}$)	60.86 ^a	32.7 ^a	22.5 ^a	22.3	2.4 ^a	61 ^a	3.5 ^a	28.7	200 ^a	6.7 ^a & 6.32 ^a
σ/μ (untrimmed) (%)	4.5	0.3	-	0.53	0.86	0.37	0.047	0.18 & 1.8	-	0.072 & 0.089
σ/μ (trimmed) (%)	2.6	0.17	0.183	0.12	0.21	0.37	0.033	0.18 & 1.8	-	0.072 & 0.089
PSRR (dB)	-93 @10Hz	-85 @DC	-49 @DC	-58 @10Hz	-76 @DC	-66 @10Hz	-	-65 @1kHz	-83 @100Hz	-31.4 & 50.17 @100Hz
Power (μW)	0.063	0.192	0.029	3	60	0.0456	415	0.0647	0.046	45.8
# of samples	6	30	5	10	10	12	8	5	4	28
Area (mm^2)	0.015	0.063	0.072	0.04	0.088	0.0104	0.31	0.0061	0.146	0.081
Trimming	Yes (1 point)	Yes (1 point)	Yes (1 point)	No	Yes (2 point)	No	Yes (1 point)	No	Yes (1 point)	No
Compensation method	Self-regulated & trimming	Dual loops & trimming	Current injection & trimming	Auto trimming	Curvature & trimming	PTAT generator	Curvature & trimming	Body bias technique	Trimming	Curvature & PVT detection

Note: The values are obtained based on the averaged results