

容量式圧力センサにおける CV 変換方式についての提案

高木駿（富山県立大学）・島崎凌（富山県立大学）

岩田達哉（富山県立大学）・吉河武文（富山県立大学）

1. 背景

足裏荷重などの圧力を測定するために容量式の圧力センサが使われている。この容量式の圧力センサは、押圧状態の容量増加をセンシングするので、無圧状態から容量が減少することはない。本件では、この特性を利用した CV 変換方式と回路を提案する。

2. CV 変換方式と回路

(i) 従来方式と課題

一般的なスイッチドキャパシタ型の CV 変換回路を図 1 に示す。この CV 変換回路において、適切なタイミングで SW1~SW3 を ON/OFF させると、出力電圧 V_{amp} は、以下の式で求まる。

$$V_{amp} = \frac{(C_s - C_{ref})V_r}{C_f} + V_r \quad (1)$$

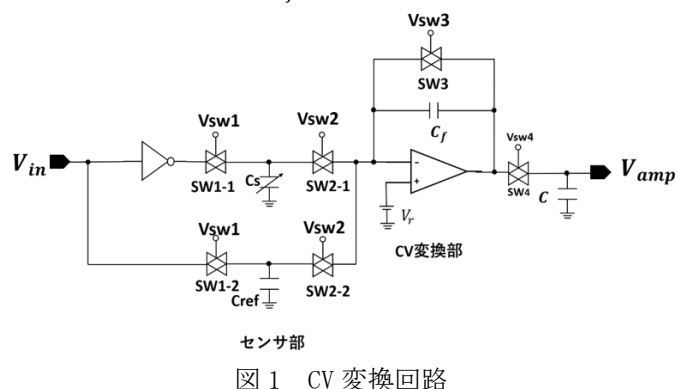


図 1 CV 変換回路

通常は無圧状態のセンサ容量 C_s と基準容量 C_{ref} との容量値を同一にし、そして平衡電圧 V_r を $\frac{1}{2}V_{DD}$ にして、使用する。このようにすると C_s の増減に応じて基準容量との差分 $C_s - C_{ref}$ が変化して、出力電圧が $1/2 \times V_{DD}$ を中心に上下に変化するのである。

また、式 (1) に示すように、出力電圧 (V_{amp}) 傾きは、帰還容量 C_f によって決まる。つまり、センサ容量 C_s が最大変化した場合に、出力のダイナミックレンジを $1/2 \times V_{DD}$ 内に納めないといけな。このため、帰還容量 C_f の値を大きくとらなければならない、レイアウト面積や動作速度が上がらない、という課題があった。

(ii) 提案方式

本件では、容量式の圧力センサを使用する。このものは、図 2 に示すように、押圧状態においては、柔軟な導体間の間隔が狭まることにより容量値変化することを利用して圧力をセンシングしている。つまり、無圧状態から容量値が減少することはない、式(1)の第 1 項がマイナスになることはない。この点に着目し、センサ容量 C_s と基準容量 C_{ref} を同じ容量値ではなく、 $C_s = N \times C_{ref}$ となるようにする。このようにすると、式(1)は、次の式(2)のように表すことができる。

$$= \frac{C_s - C_{ref}}{(N + 1)C_f} V_{DD} + \frac{1}{N + 1} V_{DD} \quad (2)$$

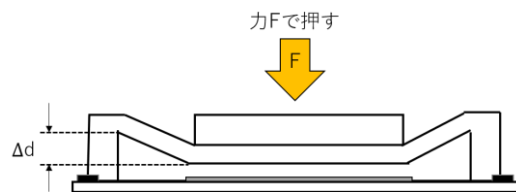


図 2 容量式圧力センサ

つまり、平衡電圧 V_r が低下させることができ、出力電圧のダイナミックレンジを増加させることができるのである。

したがって、帰還容量 C_f を小さくしても、センサ容量が最大変化した場合でも、出力電圧のレンジを確保することができるのである。

図 3 に容量比 N を 2:1 にし、 $V_r = \frac{1}{3}V_{DD}$ にした場合の容量値と出力電圧の特性を示す。無押圧時のセンサ容量値は 20 pF とした。これに示すように、帰還容量 C_f を 15pF から 5pF に削減できた。平衡点変更前と平衡点変更後の出力範囲を図 2 に示す。

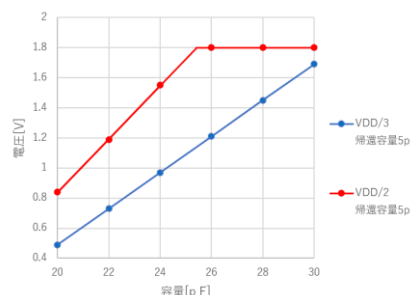


図 2 容量・出力電圧特性

また、実際に設計した CV 変換回路の特性比較を表 1 に示す。

表 1: 特性比較表

	帰還容量値	最小サイクルタイム	レイアウト面積	消費電力 (同サイクル数)
従来方式	15 pF	6 μ s	$2 \times 10^4 \mu\text{m}^2$	0.77 mW
提案方式	5 pF	4 μ s	$1 \times 10^3 \mu\text{m}^2$	0.5 mW

3. まとめ

容量式圧力センサの特性を利用することで帰還容量値を低減させて、面積と電力の削減を図ることができた。

謝辞

本研究は、東京大学 V D E C 活動を通して、日本ケイデンス・デザイン・システムズ社の協力で行われたものである

参考文献

- Extended Abstracts of the 2014 International Conference on Solid State Devices and Materials, Tsukuba, 2014, pp114-115