

ゲート電圧の観測によるパワーデバイスの熱時定数の導出手法

A Method for Deriving Thermal Time Constants of Power Devices

by Observing Gate Voltages

東京大学大学院 工学系研究科 電気系工学専攻 ○野村 昌弘、森 時彦、桜井 貴康

The University of Tokyo, °Masahiro Nomura, Tokihiko Mori, and Takayasu Sakurai

E-mail: mnomura@ee.t.u-tokyo.ac.jp

パワーデバイスを IoT 化し、将来の DaaS (Device as a Service) を指向して、インテリジェント・デジタルゲート・プラットフォーム (IDG-PF) を開発している[1](図1に例示[2])。本発表では、将来、ゲートドライバにも搭載可能なゲート電圧のみの観測によるパワーデバイスの熱時定数の導出手法を提案する。

本手法は、デバイス特性の温度依存性を利用し、プラトーレベルの時間変化を観測する[3]。観測回路は DUT を含む 2 つの Leg と誘導性負荷 L からなり (図2)、加熱後、冷却&データ取得を一定周期で複数回繰り返す (図3)。ダブルパルス試験によりゲート電圧 V_{g1} のプラトーレベルを MCU 内蔵 ADC で取得する。

図4にパワーデバイス最寄りの熱回路を示す。接合温度 $T_j(t)$ は式(1)で表され式(2)を得る。

$$T_j(t) = (T_H - T_L) \exp(-t/\tau_j) + T_L \quad (1)$$

$$\ln\{(T_H - T_L)/(T_j(t) - T_L)\} = t/\tau_j \quad (2)$$

ここで、時定数 $\tau_j = R_j C_j$ 、 R_j は熱抵抗、 C_j は熱容量、 T_H は加熱後の温度 $T_j(0)$ 、 T_L は基準温度、 W は加熱電力、を示す。限られた温度範囲において、温度 $T = aV + b$ とプラトーレベル V で線形近似 (a, b は定数) すれば[4]、式(3)を得る。

$$\ln\{(V_H - V_L)/(V_j(t) - V_L)\} = t/\tau_j \quad (3)$$

小さい τ_j を捉えるために、回生により負荷電流 I_L を減衰させ、加熱後の測定開始時間と測定周期を短くする。プラトーレベルの温度依存性を高め、データ取得時の発熱を抑制するため、ダブルパルス試験の I_L を小さくする。

図5に実験評価システム、図6にプラトーレベルの時間変化の測定結果 (2.5ms 周期)、図7に図6の測定結果の式(3)に基づく回帰直線を示す。回帰直線の傾きの逆数が τ_j で、IGBT モジュール FS75R12KT4_B15 で約 50ms であった。実験用プログラムは[5]を参照。

謝辞:

貴重なご議論を頂いた九州大学の齋藤渉教授、九州工業大学の長谷川一徳准教授、東京大学の高宮真教授に感謝する。この成果は、国立研究

開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託事業 (JPNP21009) の結果得られたものである。

参考文献:

[1] 野村等, 信学会ソサイエティ大会, C-12-7, 2022.9.

[2] トリリオンノード研究会, <https://trillion-node.org/> (2023.1.10 参照)

[3] K. Miyazaki et al., IEEE ICICDT, Aug. 2019.

[4] https://www.semicon.sanken-ele.co.jp/sk_content/an0020_jp.pdf, p.10 (2023.1.10 参照)

[5] <https://github.com/Leafony/power-electronics>

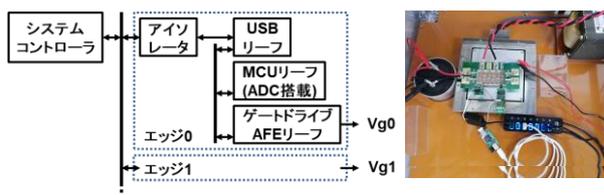


図1. IDG-PF の例

図5. 実験評価システム

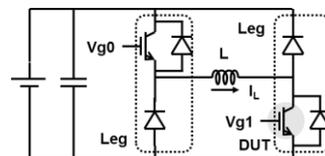


図2. 観測回路

図4. 熱回路

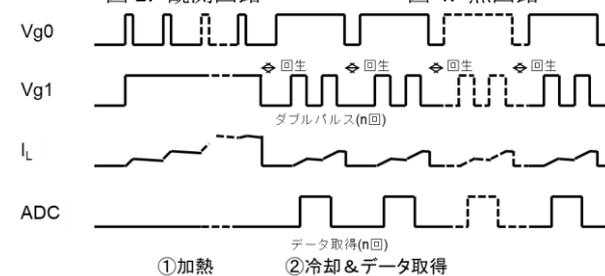


図3. タイミングチャート

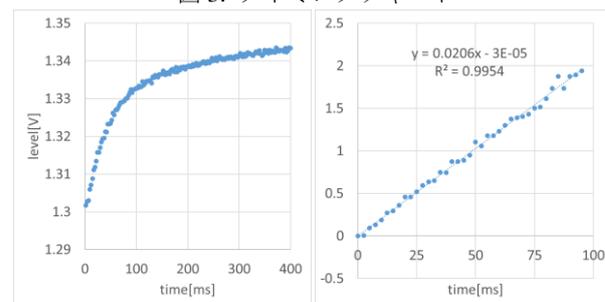


図6. プラトーレベルの時間変化の測定結果

図7. 回帰直線