

電動パワーステアリング用パワーユニットの開発

Development of Power Unit for Electric Power Steering

嶋田 敏*
Satoshi Shimada

諸山 和弘*
Kazuhiro Moroyama

要 旨

HONDA NSXの電動パワーステアリング用として大電流制御パワーユニット（以下パワーユニットと称す）を新しく開発した。このパワーユニットは直流モータの出力トルクをコントロールするためのもので、CPUを内蔵したコントロールユニットからのPWM（Pulse Width Modulation:パルス幅変調）信号に従って200Wのモータを直接チョッピング制御することを可能とした。本稿ではこのパワーユニット開発での技術課題とその対応手法について述べる。

ABSTRACT

A new, large-volume current control power unit has been developed for the power steering of the NSX. This power unit is designed to control the output torque of a DC motor in the system. It also allows direct chopping control of the motor with capacity of 200W, in accordance with pulse width modulation (PWM) signal from a control unit storing a computer.

This paper discusses the main technical challenges which exist toward developing this power unit, and the progress which has been made toward meeting these challenges.

1. ま え が き

自動車における電子制御化は、ますます広がる一方である。その中でも電動パワーステアリングシステムは直流モータのトルク制御のために従来にない数10Aまでのリニアな電流制御が必要となった。この大電流制御ユニットが達成すべき技術課題は以下の項目であった。

- ① 大電流スイッチング素子の選定
- ② 放熱対応
- ③ FET（Field Effect Transistor:電界効果トランジスタ）保護回路の決定
- ④ スwitchングノイズ対策
- ⑤ ドライブ回路の最適設計
- ⑥ ユニットの異常検出手法の確立

本稿では、HONDA NSXに採用された電動パワーステアリング用パワーユニットでの、こ

れらの課題に対する対応を紹介する。

2. 構造・動作原理

パワーユニットの回路構成を図1に、その構造を図2に示す。

パワーユニットは以下の回路ブロックにより構成されている。

- ① Hブリッジ回路
- ② プリドライブ回路
- ③ 電流検出回路
- ④ メイン／フェールセーフリレー
- ⑤ 倍電圧回路
- ⑥ 5V電源

また、主要構成部品としては以下の通りである。

- ・放熱フィンを兼ねたケース

* 朝霞北研究所

- FET
- 大電流配線用の金属配線板
- 電流検出抵抗
- メイン／フェール

セーフリレー

- 回路基板

次に、回路ブロックの概略機能进行を述べる。尚、各回路ブロックの部品で断りのないものは図2の回路基板に実装される。

1) Hブリッジ回路

4つのFETを図1のようにに接続し、それぞれについてON/OFFを組み合わせること、モータの正転、逆転、モータブレーキ等を、PWM制御により行っている。実回路としては、2個のFETを並列接続しているため、合計8個のFETで構成している。このFETは、図2のように放熱フィンに取付けられている。

2) プリドライブ回路

この回路は、コントロールユニットより送ら

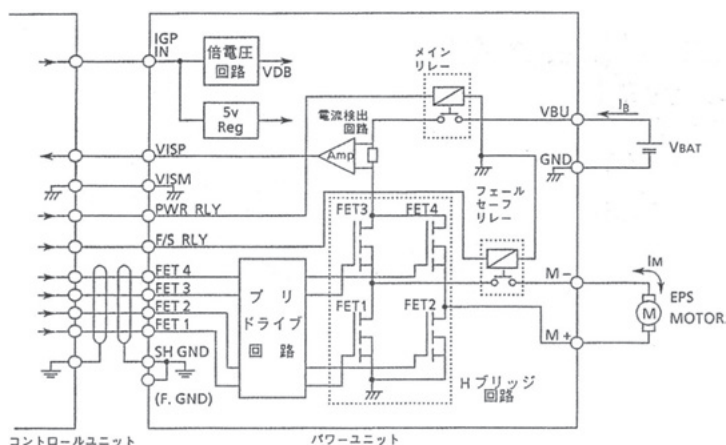


図1 パワーユニット回路構成

れてくるPWM信号をFETゲート信号に変換する。Hブリッジの下側FET 1、2は12V、上側3、4は24Vのゲート信号でドライブする。

3) 電流検出回路

この回路は、電流検出抵抗(図2に示す)により出力回路を流れる電流値を検出し、コントロールユニットの読み可能な電圧レベルに増幅する。

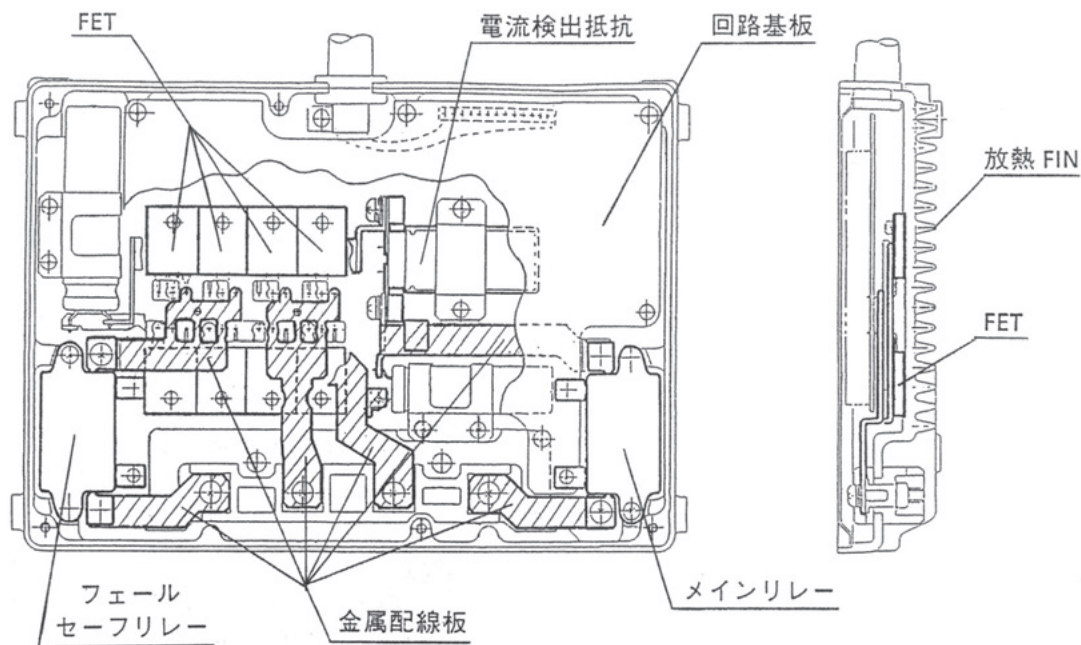


図2 パワーユニット構造

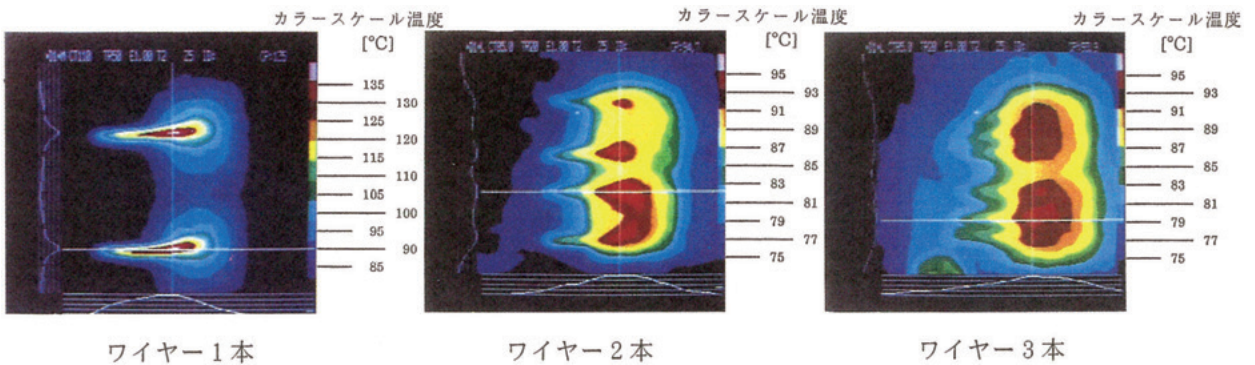


図3 ソースワイヤー本数の違いによるFETチップの発熱温度分布

4) メイン／フェールセーフリレー

コントロールユニットによるシステム動作のセルフチェックで、正常判断時のみバッテリーライン及びモータラインの通電を行う。

これらのリレーは図2のようにケースに取り付けられ金属配線板にはネジで接続されている。

5) 倍電圧回路

バッテリー電圧の2倍相当の電圧を作り、電流検出回路及びブリドライブ回路に供給する。

6) 5V電源

ブリドライブ回路用の電源である。

3. 技術課題に対する対応

3.1. 大電流スイッチング素子の選定

電動パワーステアリングでは、操舵のアシスト力として、直流モータの発生トルクを使用している。従って、走行状態や転舵状態に合わせ、リニアにモータ出力トルクをコントロールする必要がある。その手法としてモータ印加電圧を直流的に印加する方法とON/OFFを高速で行なうチョッピング電圧を印加する方法とがあるが、NSXの電動パワーステアリングでは、モータ出力トルクをコントロールするパワーユニットのエネルギーロスを少なくするため、PWM信号によるチョッピング電圧をモータへ印加している。チョッピングを行うと、モータ磁歪音の対策が必要となり、チョッピング周波数を可聴周波数外に設定した。

以上の経緯より、高周波スイッチング素子が必要となりFETを採用している。これにより、従来のHブリッジ回路では別部品として必要なフラ

イホイールダイオードの代わりに、FETの内蔵寄生ダイオードが使用可能となり、部品点数の削減ができた。

FETとしては、自己発熱を極力抑えるために、以下の点を重視した。

- ・FETチップON抵抗
- ・ソースワイヤーの抵抗

図3に示すようにFETの発熱温度は、ソースワイヤー部で高いことがわかる。従ってFETの発熱低減のためにチップON抵抗の低いFETを選定すると同時に、ソースワイヤーの抵抗を小さくするためワイヤー径を太くし2本としている。これによりワイヤー及びチップの発熱低減ができた。テストでは、ワイヤー3本での確認も行ったが、表1に示すように2本と3本での大きな温度差は見られなかった。

図4にチップへのワイヤーボンディング状態を示す。

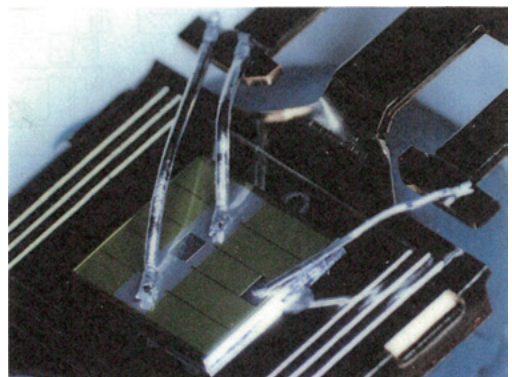


図4 チップへのワイヤーボンディング状態

表1 ソースワイヤー本数に対する
温度上昇データ

ワイヤー本数	ワイヤー温度	チップ温度
1	135℃以上	120～125℃
2	93～95℃	93～95℃
3	93～95℃	93～95℃

3.2. 放熱対応

放熱対応として、放熱フィンを兼ねたケースに図2のようにFETを取付けて放熱をさせた。

また、電流検出抵抗も大電流が流れることにより発熱するので、ケースへの放熱をさせるために、ケースに固定する構造を取っている。

また、大電流ラインの発熱を低減させるため、図2に示すように、金属配線板による配線構造を採用した。

3.3. FET保護回路

大電流チョッピングでは、図5に示すような配線ラインが持つインダクタンスを無視できなくなってくる。そこで図6のようにFETのゲート～

ドレイン間に小信号ツェナーダイオード(ZD_1)を入れた保護回路が有効となる。この回路は、配線のインダクタンスにより発生するサージ電圧や電源ラインからのサージ電圧をFET自身により吸収可能な構成としている。また、ゲートへの過大電圧入力に対する保護として、ゲート～ソース間にもツェナーダイオード(ZD_2 , ZD_3)を入れている(図6参照)。

3.4. スイッチングノイズ対策

大電流をPWM信号でチョッピング制御する場合には、スイッチングノイズ防止のために以下のことを満足する必要がある。

- ① 12Vラインの電圧変動がないこと。
- ② モータラインにサージ電圧が出ないこと。
- ③ 12Vラインの電流変動が急激でないこと
- ④ モータラインの電流変動が急激でないこと。

これらは、大きくは電圧性ノイズと電流性ノイズに分けられる。

以下に、その具体的対応例を示す。大電流チョッピングでは、配線のインダクタンスによりサージ電圧が発生することは、先にも述べた。

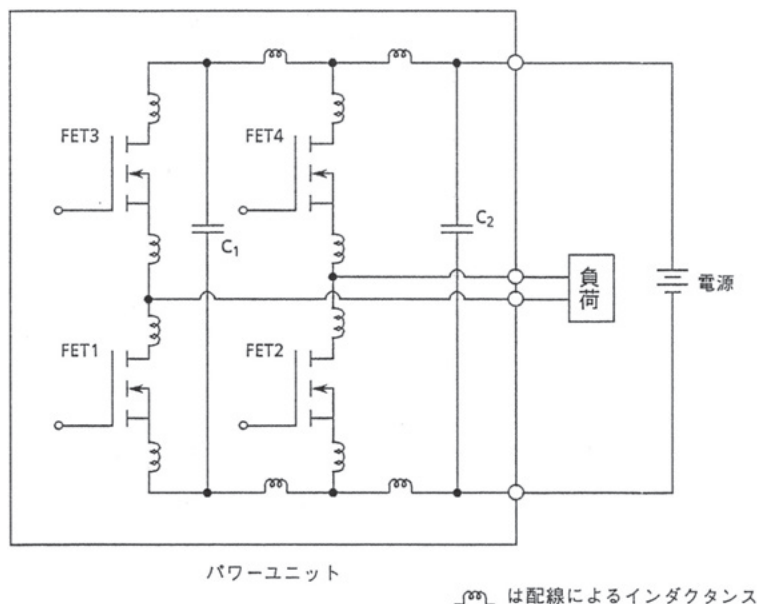


図5 Hブリッジ配線でのインダクタンス等価回路とノイズ対策用コンデンサ

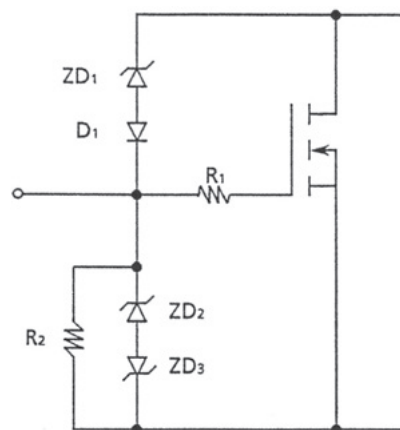


図6 FET保護回路

図7にチョッピングしている側のモータ駆動端子のサージ電圧波形を示す。このサージ電圧が、12Vラインやモータラインにあらわれると電圧性のスイッチングノイズとなる。(図7-a)

サージ電圧を抑えるために、以下の対応を行った。

- 図5に示す配線のインダクタンスを小さくするために、金属配線板を短く、太くした。
- 図5の電源-GND間に周波数特性の良いコンデンサ(C_1)をFETの近くへ配置した。
- サージ電圧を吸収するため、電源入力端子の近くへコンデンサ(C_2)を配置した。

図7-bに対策後の波形を示す。

図8に電源ラインの電流変動波形を示す。電流性のノイズは、図8-aのようなPWMによる電

源ラインの電流変動により発生する。これを抑えるために以下の対応を行った。

- 電流性ノイズに対しても、電圧性ノイズへの対応として配置したコンデンサ(C_2)が有効であった。ただし、コンデンサにはモータ電流相当のチャージ、ディスチャージ電流がチョッピング周期で流れるので発熱が大きくなる。従って、放熱性を考慮して大型化すると同時に、等価直列抵抗の低いものを選定した。また、配線する際にはコンデンサリードをできるだけ短くするように配慮した。
- 図9に示すような寄生ダイオードに流れるリカバリー電流を小さくするために、FETをスローONさせるようにした。

図8-bに対策後の波形を示す。

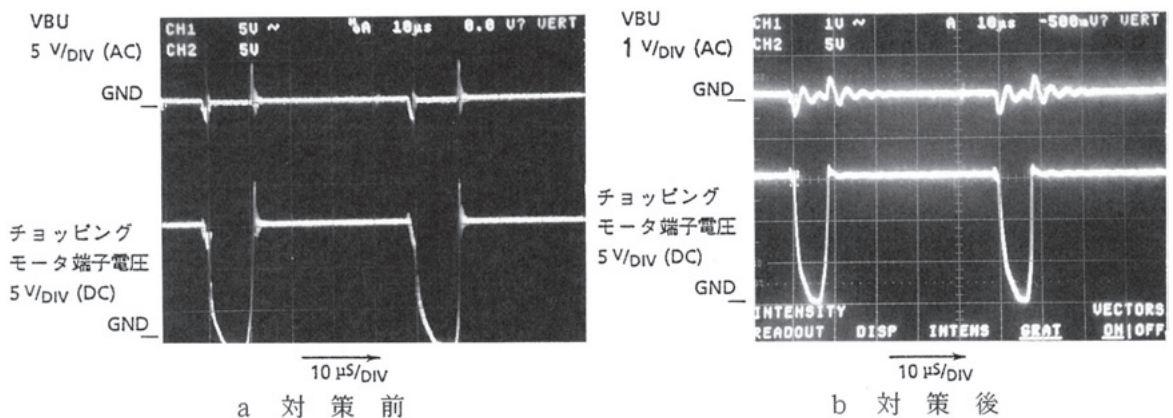


図7 モータ駆動端子のサージ電圧波形

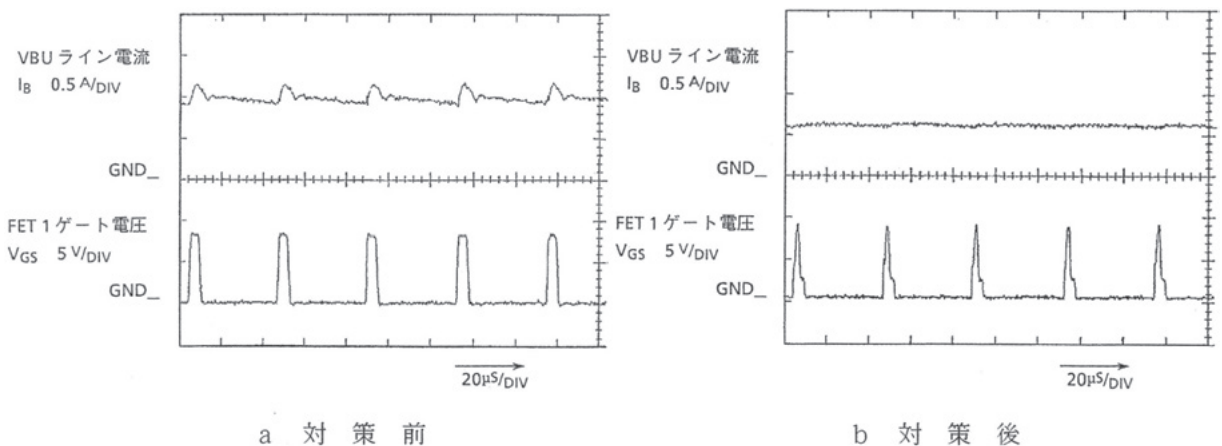


図8 電源ラインの電流変動波形

3.5. ドライブ回路の最適設計

大電流のチョッピング制御で問題となるのは、スイッチングロスである。FETの発熱を少なくするには、ON/OFF切り替えのスイッチング時間を短くし、スイッチングロスを小さくする必要がある。従って、短時間ではあるが十分な電流量を持ったドライブ回路が必要となる。

図10にパワーユニットで採用したゲート駆動回路を示す。

本回路ではFET ON時にトランジスタ(T_{r1})とゲート抵抗(R_G)を通してFETの入力容量がチャージされ、FET OFF時にゲート抵抗(R_G)、ダイオード(D)とトランジスタ(T_{r2})を通してFETの入力容量のディスチャージが行われる。この回路でゲート抵抗の値を変えた時のOFF時のゲート電圧、ドレイン電圧とドレイン電流の各スイッチング波形を図11に示す。これよりゲート抵抗が小さい方がスイッチング時間が短くなることがわかる。図12にゲート駆動回路の違いによるOFF波形の算出結果を示す。これからゲート抵抗が小さい方がスイッチング時間を短くできることがわかる。一方、ゲート抵抗を小さくするとOFF時に発生するサージ電圧が図13に示すように増加する。また、このサージ電圧は電流が多くなるにつれて増加するので素子耐圧を越えないようにするためにはゲート抵抗をあまり小さくはできない。

従って、サージ電圧を素子耐圧範囲内に抑え、かつ、スイッチング時間を短くするようにゲート抵抗の定数設定を行った。また、トランジスタの定電流特性を利用することにより、抵抗を小さくしてもスイッチング時間が短くなり過ぎず、サージ電圧を抑えるのに有効となった。

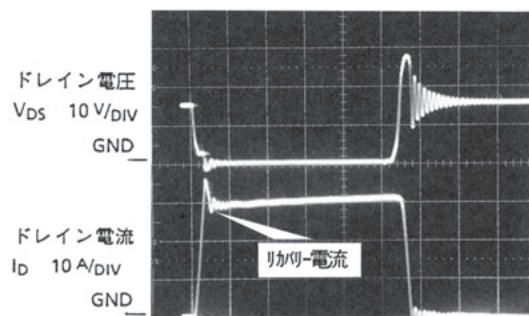


図9 寄生ダイオードに流れるリカバリー電流

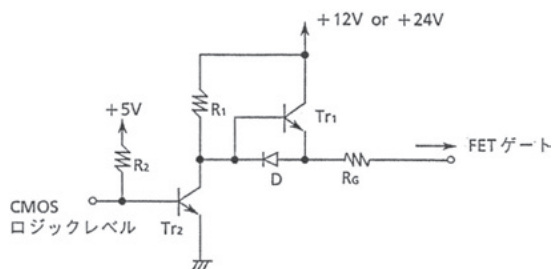
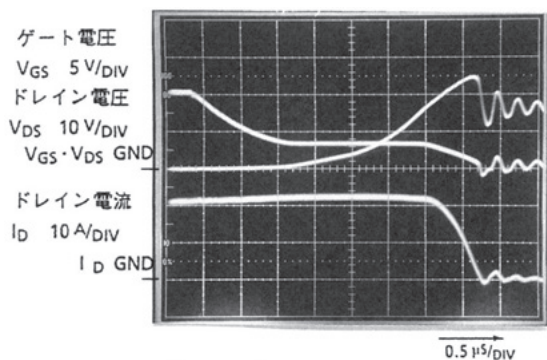
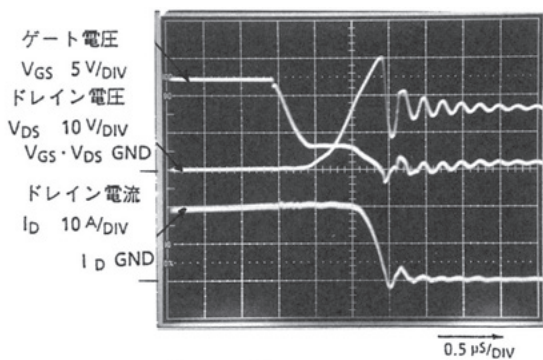


図10 ゲート駆動回路



R_G : 大



R_G : 小

図11 OFF時のスイッチング波形

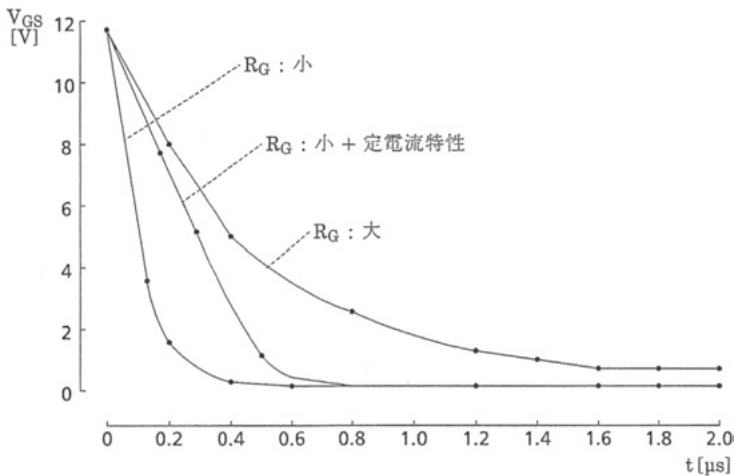


図 12 ゲート駆動回路の違いによるOFF波形算出値

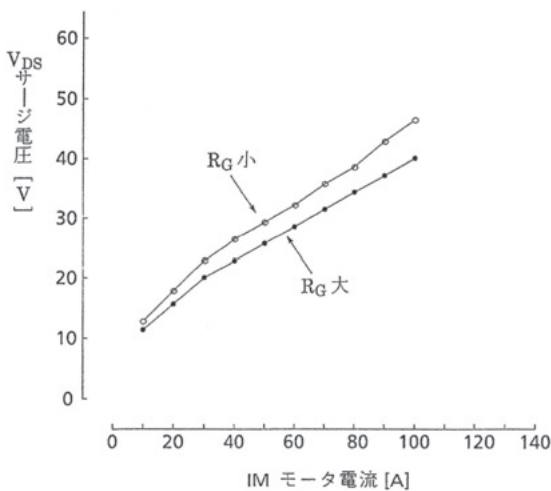


図 13 スイッチング電流値とサージ電圧の関係

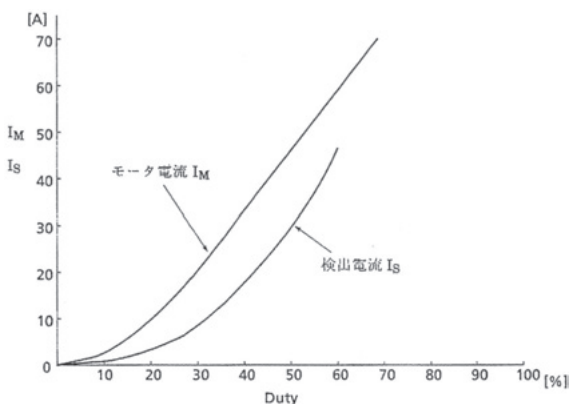


図 14 電流検出特性

3.6. ユニット異常検出手段の確立

パワーユニットでは、電源ラインに流れる電流を検出しコントロールユニットへ出力している。(図 1 参照)。この検出特性は、図 14 に示すようにPWM信号のデューティ比に対応して変化する。そして、この検出電流 I_S とモータ電流 I_M との間には、次式に示す関係が成り立つ。

$$I_M = I_S \times 100 \div D$$

D: PWM信号のデューティ比 [%]

従って、コントロールユニット側で出力したPWM信号と、パワーユニットが検出した電流値を比較することにより、パワーユニットの異常を検出することが可能となった。

4. あとがき

前章で述べた6項目の技術課題に対する対応により、200Wのモータ制御が可能なパワーユニットを完成した。今後の電動パワーステアリングとして求められるパワーユニットは、モータと一体化可能なインテリジェントパワーモジュールと考える。この技術は、将来も進む車の電子化の中で、解決しなければならないものである。

■ 著 者 ■



嶋 田 敏



諸 山 和 弘