

1. 序文

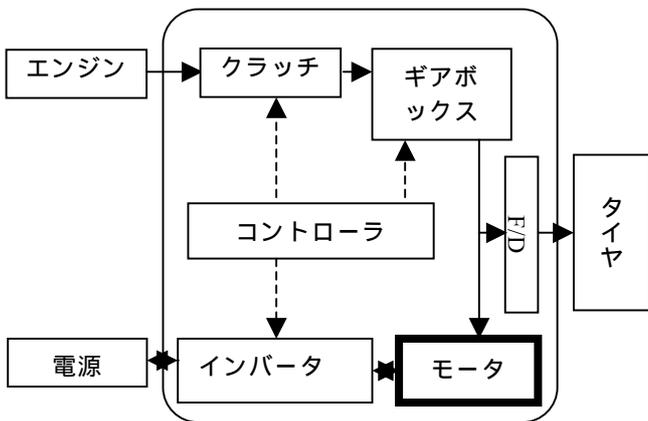
内燃機関を主たる原動機として使用する車はトランスミッションがないと動かない。本研究では、ハイブリッドシステムの応用形態のひとつとして、トルクアシスト型のマニュアルトランスミッションを取り上げ、その性能について検討を行う。

2. トルクアシスト式自動 MT

シングルクラッチ式自動 MT は、燃費・コスト・強度などの面で従来の AT/ CVT に対して優位であるにもかかわらず、主にクラッチ開放中の加速の不連続感が原因で、市場では受け入れられなかった。そこで、考案されたのが、トルクアシスト式自動 MT である。

2.1 トルクアシスト式自動 MT の構造

トルクアシスト式自動 MT は、シングルクラッチ式自動 MT をベースに、電動のモータージェネレーターを追加した機械要素である。模式図を Fig. 1 に示す。



通常のシングルクラッチ式自動 MT と大きく異なるのは、ギアボックスの出力と F/D の入力との間にモータを配している点である。このモータはクラッチが開放されている間の駆動力の抜けを補償し、変速中の連続的な加減速を実現する。

2.2 トルクアシスト式自動 MT の特徴

以下にシングルクラッチ式自動 MT と比較した場合の、トルクアシスト式自動 MT の特徴を記す。

回生ブレーキが使用できる。減速中のエネルギーの一部を再利用可能である。強度的に強い。大トルクエンジンへの応用が可能である。

連続した加速が得られる。ギクシャクしないスムーズなトランスミッションを提供することができる。

しかし、上記のようなトランスミッションを成立させるためには、瞬間的に高出力を得られる電源の確保、自動車の車体を加速することができるほど高出力でありながらエンジンルームに入るほどの大きさを持つモータージェネレーターの開発、クラッチを開放し始めてから締結し終えるまでの間の「トルク」と「車速」を補償するインバータ制御の構築など、技術的課題が多い。

3. トルクアシスト式自動 MT の基礎検討

トルクアシスト式自動 MT について、その成立性を検討するために、シミュレーションを行った。

3.1 トルクアシスト式自動 MT のシミュレーション

SIMULINK® で作成した MT 車両のシミュレーションプログラムを基に、モータのモデルを付加することでトルクアシスト式の自動 MT の基礎検討を行う。

3.1.1 運動方程式

1 モータ式の場合、出力軸にモータを付加したのであるから、運動方程式も以下のように書き直せばよい。

ニュートラル時

$$\begin{pmatrix} \dot{\omega}_1 \\ \dot{\omega}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1/I_1 & 0 \\ 0 & 1/I_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_{tire} / \rho_{fd} \cdot (F_{air} + F_{frc} + F_{brk}) + T_{MG1} \\ T_e \end{pmatrix}$$

締結時

$$\dot{\omega}_1 = \frac{1}{I_1 + \rho_{TM}^2 I_2} \dots$$

$$\left(1 \quad \rho_{TM} \right) \begin{pmatrix} r_{tire} / \rho_{fd} \cdot (F_{air} + F_{frc} + F_{brk}) + T_{MG1} \\ T_e \end{pmatrix}$$

ただし、 T_{MG1} : MG1 出力トルク

3.1.2 回路方程式

電力系は、Fig. 2 のような理想的なインバータを用いてモデル化した。モータが永久磁石内臓同期モータであると仮定すると、MG1 の出力トルクは以下のように表すことができることが知られている。

$$T_{MG1} = P \{ \phi \cdot i_q + (L_d - L_q) \cdot i_d i_q \}$$

ただし、 P: 極数

: 永久磁石磁束

L_d : 永久磁石磁束(d 軸)方向のインダクタンス

L_q : d 軸直交軸 (q 軸) 方向のインダクタンス

i_d : d 軸方向電流

i_q : q 軸方向電流

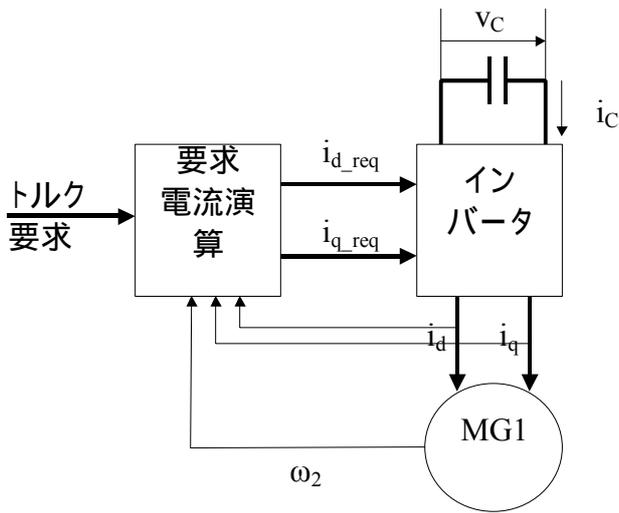


Fig. 2 電力系簡易モデル

本検討で考えているシステムの場合、モータに求められている要求は、「エンジンと出力軸のトルク伝達が遮断されている間のトルクを補償すること」である。従って目標トルクがエンジンの特性によってすでに決まっているので、それに見合うように i_d 及び i_q を制御することを考えればよい。

また、d 軸、q 軸方向の電圧 v_d および v_q が以下のように表現されることも知られているので、 i_d , i_q と平行して演算を行い、電圧に対する検討も行う。

$$\begin{pmatrix} v_d \\ v_q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r & Ld & -\omega L_q & 0 \\ \omega L_d & 0 & r & L_q \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_d \\ \dot{i}_d \\ i_q \\ \dot{i}_q \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ \omega\phi \end{pmatrix}$$

ただし、 r :抵抗成分

i_d , i_q , v_d , v_q がわかると、インバータで消費される総電力 p_{inv} を算出することができる。

$$p_{inv} = i_d \cdot v_d + i_q \cdot v_q$$

理想的なインバータを仮定しているので、電力変換における損失が 0 である仮定すると、キャパシタに蓄えられたエネルギーとの授受関係から、以下の等式が成立する。

$$p_{inv} = \frac{d}{dt} \left(\frac{C}{2} v_C^2 \right)$$

$$\dot{v}_C = \frac{p_{inv}}{C \cdot v_C}$$

ただし、 C :キャパシタ容量

これにより、 p_{inv} を常時演算すれば、数値積分によりキャパシタに蓄えられている電圧を求めることができる。

3.1.2 解析結果

3.1.1、3.1.2 で説明したロジックを用いて、SIMULINK® を用いた数値解析を行った。結果の一例を Fig.3 に示す。

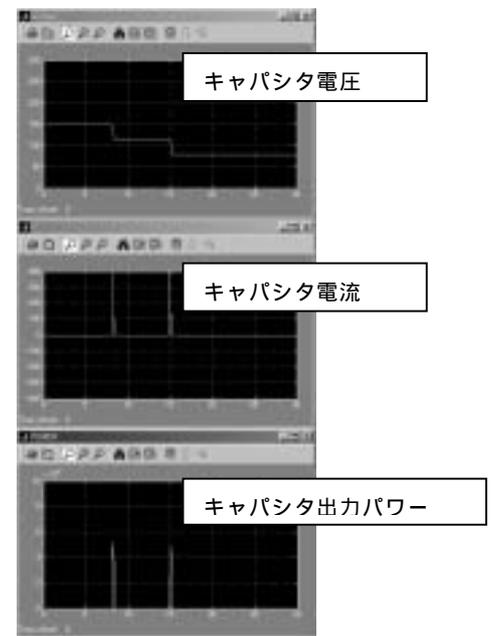
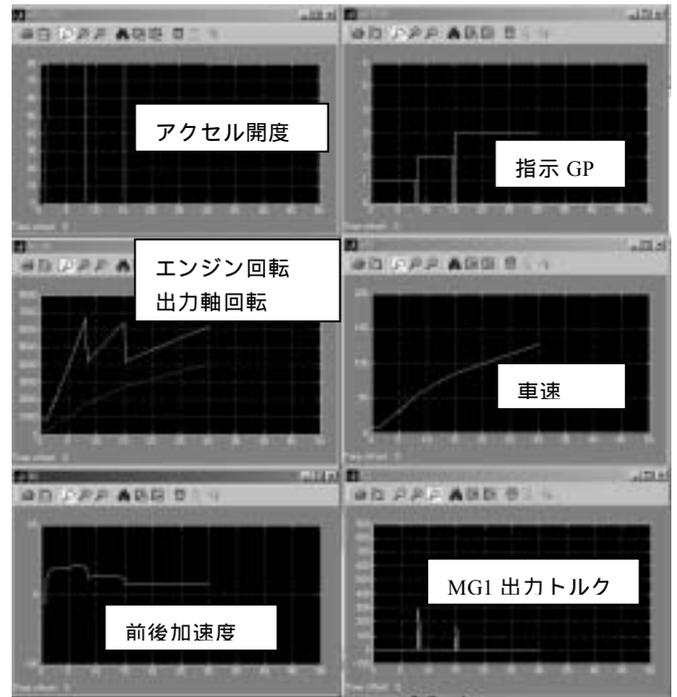


Fig. 3 トルクアシスト式 AMT シミュレート波形
アクセル開度 100%

解析結果より、キャパシタに蓄えられた電力の入出力を適切に制御することで、変速中の加速の不連続感を抑えられるということを確認することができた。

参考文献

モータ式オートメテッドマニュアルトランスミッションの開発：曾我 義孝、自動車技術 Vol.58, No.9 (20040901) pp. 62-67