

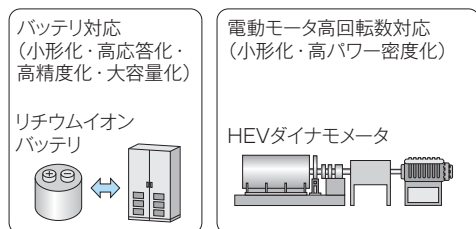
電気自動車 (EV)・ハイブリッド車 (HEV) 評価試験機の性能向上に向けた基礎検討

濱田鎮教 Shizunori Hamada
 小熊功太 Kota Oguma
 柴田 翔 Sho Shibata
 小堀賢司 Kenji Kobori

キーワード ダイナモメータ, 大容量, 高応答, 高精度, 高回転数

概要

電気自動車 (EV)・ハイブリッド車 (HEV)



EV・HEVを取り巻く技術動向

近年、自動車業界は電動化の急激な潮流によって、自動車研究開発における評価項目が増加し、試験にかかるコストが増大している。各自動車メーカーが生み出す新しい駆動装置は、従来の駆動システムに比べて多様化している。電動モータの小形化・高速化、及び車載用バッテリーの高パワー密度化が進んでいる。

駆動装置の評価コストを下げるため、ダイナモメータを用いて駆動装置の各部位の試験を進め、評価時間を短縮している。ダイナモメータの仕様は、従来よりも小形化・大容量化・高応答化・高精度化・高回転数化が要求されており、当社はこれらの要求に対応する基礎技術を開発した。

1 まえがき

現在、自動車市場では、エンジンと電動モータを組み合わせたハイブリッド車 (HEV) やプラグインハイブリッド車 (PHEV) の普及が進んでいる。また、動力が電動モータのみの電気自動車 (EV) の普及も進みつつある。電動化は、地球温暖化への影響が大きいCO₂の排出を低減する有効な手段である。電動モータの主な動力源であるリチウムイオンバッテリーは高パワー密度化が進み、航続距離が改善される傾向にある。また、電動モータの小形化・軽量化を目的として、高回転数化も進んでいる。自動車のシステムが高機能・複雑化すればするほど、開発における信頼性評価にかかるコストは飛躍的に増大する。異なる動力源を効率よく組み合わせて駆動させ

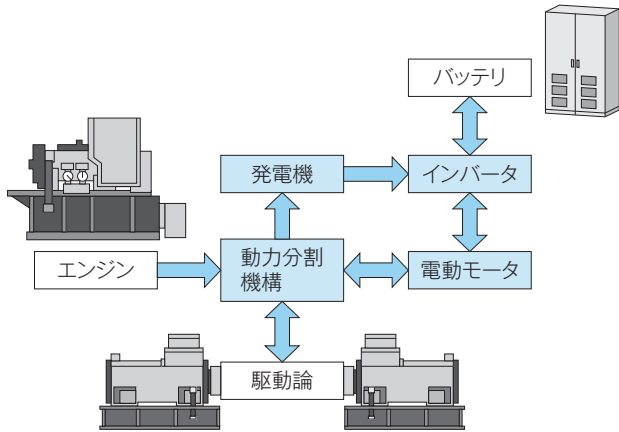
る機構の開発は、その仕組みの多様性から様々な試験機のバリエーションが必要となる。本稿では、EV・HEV評価試験機の性能向上に向けた取り組みを紹介する。

2 EV・HEV評価試験機への要求

まず、EV・HEV評価試験機に要求される項目は、小形化である。次に、バッテリーシミュレータに対する要求は、高応答化・高精度化・大容量化である。最後に、ダイナモメータ用モータ及びインバータに対する要求は、高パワー密度化及び高回転数化である。これは電動モータの高パワー密度化・小形化が進み、電動モータの最高周波数が拡大しているためである。

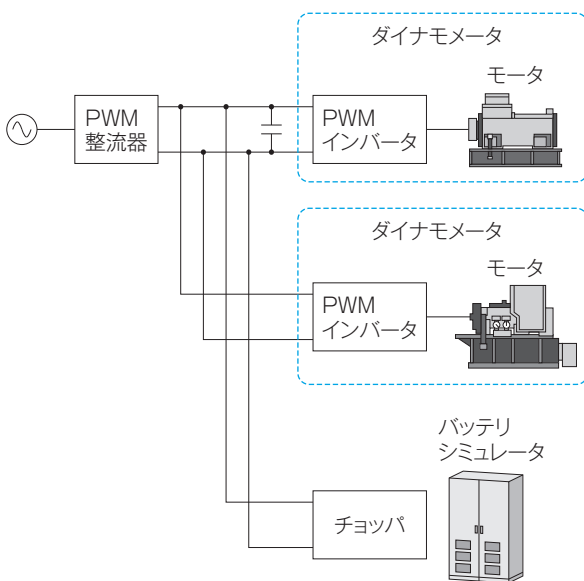
第1図にHEVの駆動系評価システム例を示す。ここではエンジン・バッテリー・駆動輪負荷を評価試験機で模擬した例である。バッテリーシミュレータを含んだ評価試験機の場合、電池のマイナス極接地対応のため、バッテリーシミュレータを絶縁する必要がある。この絶縁機構は、交流入力とバッテリーシミュレータの間にトランスを挿入することで達成できるが、トランスが大容量であるため全体の装置構成が大きくなる課題がある。

第2図に今回開発した評価試験機の装置構成概略図を示す。バッテリー挙動を模擬するバッテリーシ



第1図 HEV駆動系評価システム例

HEVの駆動輪負荷・エンジン・バッテリーを模擬して評価する例を示す。



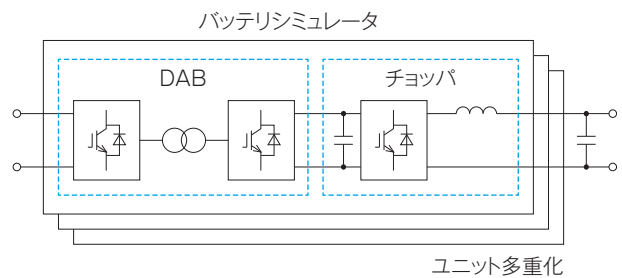
第2図 評価試験機の装置構成概略図

2台のダイナモ及びバッテリーシミュレータの入力電源を共通の直流とした例を示す。直流部は、PWM整流器を用いて生成する。

ミュレータは、チョップパを用いて構成し、エンジンや駆動輪負荷を模擬するダイナモメータは、PWM (Pulse Width Modulation) インバータとモータで構成する。独自の絶縁機構を有するバッテリーシミュレータを適用した場合の装置構成では、その絶縁機構によって交流入力トランスが不要となり、チョップパ及びPWMインバータの入力電源を直流にできる。これにより複数のチョップパやPWMインバータに対して、一つのPWM整流器のみで共通化できるため、評価試験機全体の小形化が実現できた。

3 バッテリーシミュレータの性能向上

第3図にバッテリーシミュレータ主回路概略図を、**第1表**に検討したバッテリーシミュレータの仕様を示す。まず、DC/DCコンバータとチョップパを組み合わせる。次に、この組み合わせを1ユニットと定義し、このユニットを多重化することで大電力化及び高速応答を実現した。絶縁能力のないバッテリーシミュレータを用いて供試体に負荷をかけた場合、供試体の対地電圧が大きく変動し、供試体に悪影響を及ぼす場合がある。そこでバッテリーシミュレータには絶縁能力が必須である。ここで今回DC/DCコン



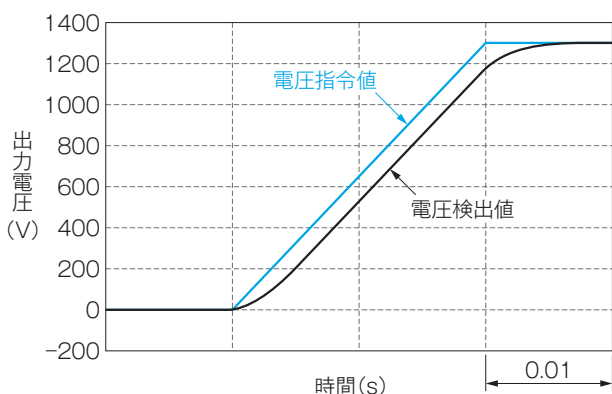
第3図 バッテリーシミュレータ主回路概略図

バッテリーシミュレータは、DAB (Dual Active Bridge) とチョップパを多重化することで高性能化を実現する。

第1表 バッテリーシミュレータ仕様

シミュレーションで検討したバッテリーシミュレータの仕様を示す。

項目	仕様
最大容量	330kW
最大出力電圧	1300V
最大出力電流	1500A



第4図 バッテリシミュレータの電圧応答シミュレーション

約0.02sで最大電圧1300Vに到達している。

バータは、大電力の駆動・回生動作ができ、入力と出力の絶縁能力を有し、かつ装置を小形化できるDABを採用した。DABは、二つのフルブリッジ回路と高周波トランスで構成される。

各ユニットの個別制御及び協調制御によって、ユニット出力をそれぞれ同期し、これらを組み合わせることで出力電圧の高精度化を実現する。第4図にバッテリーシミュレータの電圧応答シミュレーションを示す。電圧指令を0Vから1300Vまで変化させた場合のシミュレーション波形である。約0.02sで1300Vに到達し、高応答かつ高精度に指令値に追従していることを確認した。

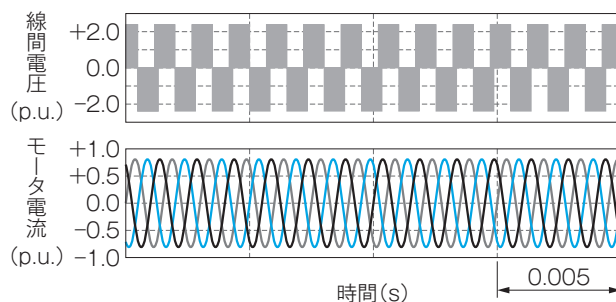
4 ダイナモメータ用インバータの高周波数化

ダイナモメータ用モータの高回転数化を図るためには、インバータ出力周波数を向上させる必要がある。第2表にモータの仕様を示す。モータの種類はSPMSM (Surface Permanent Magnet Synchronous Motor) で、最高回転数は $20,000\text{min}^{-1}$ である。極数が4極の場合、PWMインバータに要求される最高周波数は666Hzとなる。当社ダイナモメータ用インバータ THYFREC VT350DYの最高出力周波数は533Hzであるため、最高出力周波数の更なる向上が必要となる。出力周波数の向上で、二つ問題が存在する。一つ目は1周期当たりのPWMパルス数が減少するため、電流高調波が増大し、電流精度が低

第2表 モータ仕様

モータの仕様を示す。

項目	仕様
モータ種別	SPMSM
定格容量	300kW
最高回転数	$20,000\text{min}^{-1}$
定格トルク	$500\text{N}\cdot\text{m}$



第5図 最高回転数運転時のシミュレーション波形

上はモータ線間電圧、下はモータ三相電流を示す。最大回転数 $20,000\text{min}^{-1}$ でも正常に動作することを確認した。単位はモータ基準である。

下することである。二つ目は、モータ誘起電圧が回転数に比例して上昇するため、最高回転数近傍ではインバータの電圧飽和が発生しやすいことである。

一つ目の対策として、電流制御機構の無駄時間削減及び無駄時間補正を行い、電流制御の応答を改善した。二つ目の対策として、弱め磁束制御を改良し、インバータに要求される出力電圧を下げることで対応する。電流指令を生成する際に、トルク指令と回転速度から電圧飽和を回避かつインバータ定格電流を超過しないように生成する。演算中に電圧飽和が起こったりインバータ定格電流を超えた場合は、開発したアルゴリズムを用いて電流指令を再計算し、飽和を回避している。第5図に最高回転数運転時のシミュレーション波形を示す。最高回転数運転時でも正常に動作していることを確認した。

5 むすび

EV・HEV評価試験機の性能向上に向けた取り組みを紹介した。今後はシミュレーションだけではなく実機試験を行い、本検討内容の妥当性を確認する。

今後、より高機能な試験装置を提案するため、装置の改良に取り組み、自動車市場の電動化拡大・電動車普及に努める所存である。

- ・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

《執筆者紹介》



濱田 鎮教
Shizunori Hamada

製品技術研究所
パワーエレクトロニクスに関する研究開発に従事



小熊 功太
Kota Oguma

製品技術研究所
パワーエレクトロニクスに関する研究開発に従事



柴田 翔
Sho Shibata

製品技術研究所
パワーエレクトロニクスに関する研究開発に従事



小堀 賢司
Kenji Kobori

製品技術研究所
パワーエレクトロニクスに関する研究開発に従事
