

# 高圧・大電流化する車載インバータ試験を効率化する高応答バッテリーシミュレータ BS350

小熊功太 Kota Oguma  
 武士沢慎太郎 Shintaro Bushizawa  
 長谷川勇 Isamu Hasegawa

キーワード バッテリーシミュレータ, マルチレベル方式, インターリーブ方式

## 概要



THYFREC BS350

近年、自動車の電動化が急速に進んでおり、各自動車メーカーでは電動化対応のための車載システムの開発が急務となっている。車載インバータ及びモータの評価では、実バッテリーを使用する場合に試験準備としてバッテリーの充放電作業が必要で、試験にかかるコストが大きい。この課題に対し、実バッテリー動作を模擬するバッテリーシミュレータが活用されている。

バッテリーシミュレータ<sup>サイフレック</sup> THYFREC BS350は、従来製品のTHYFREC BS330から飛躍的に性能が向上している。具体的には、出力電圧1300V・出力電流1500Aと従来機種から電圧・電流範囲を拡大し、近年のバッテリーの高電圧化や車載インバータの高性能化の潮流に対応している。さらに、車載モータの急加速・急減速などの負荷変動の大きな運転パターンでも安定した電圧出力（定電圧制御／内部抵抗制御）を実現した。

## 1 まえがき

近年、自動車業界は電動化の急激な進展によって、自動車研究開発における試験項目が増加している。電気自動車（EV）の高機能化・複雑化に伴い、実際にバッテリーと組み合わせた車載インバータ評価試験では、試験対象の使用環境に合わせ複数のバッテリーを常備し、事前に充電・放電しておく必要がある。このため、試験にかかるコストが増大する。そこで、様々な試験条件で実バッテリー挙動を模擬できるバッテリーシミュレータの需要が高まっている。

今回開発したバッテリーシミュレータ<sup>サイフレック</sup> THYFREC BS350（以下、BS350）は、従来製品から性能の飛躍的な向上を実現し、出力電圧範囲10～1300V・出力電流範囲±1500Aと幅広い領域をカバーして

いるだけでなく、負荷急変時にも出力電圧を安定して制御（定電圧制御／内部抵抗制御）できる高応答性を兼ね備えている。従来機器から出力電圧・電流範囲を拡大するために、新回路方式を採用している。本稿では、BS350の特長と制御性能評価を紹介する。

## 2 BS350の特長

### 2.1 主回路構成

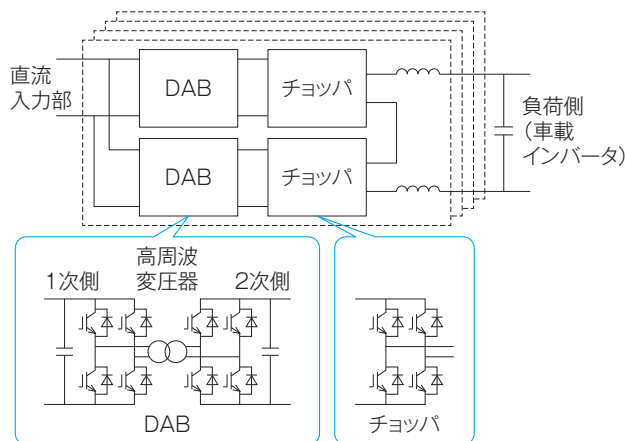
第1図にBS350の回路構成を示す。BS350は、直流入力部に接続されたDual Active Bridge (DAB)と、DABに接続されたチョップパから構成され、チョップパ出力に接続される車載インバータへ安定した電源供給を行う。DABは、直流1次側と直流2次

側を絶縁する電力変換器である。直流入力に対しDABを8台並列接続することで8つの絶縁した直流電圧源を生成し、それぞれチョッパに接続する。チョッパは、単相インバータと同構成である。マルチレベル方式とインターリーブ方式を採用することで、チョッパ出力を2直列・4並列化している。

(1) チョッパの直列接続 チョッパ出力を2直列接続し、出力電圧の高電圧化を実現した。これにより、DABで生成し絶縁した直流電圧源の2倍まで出力でき、直流入力750Vに対して最大出力電圧1300Vの高電圧化を達成した。また、直列接続に際し、正負対称の回路構成とすることで、制御可能最低電圧も従来製品から範囲を拡大し0V付近まで低減した。

(2) チョッパの並列接続 直列接続したチョッパを4並列化することで、出力電流の大電流化を実現した。4並列化によって、並列接続前の4倍の電流を出力できるようになり、出力電流±1500Aまでの大電流化を達成した。

(3) マルチレベルとインターリーブ制御による高性能化 2直列化したチョッパでは、チョッパ間でスイッチングタイミングを適宜ずらすことでマルチレベル技術を適用できる。同様に4並列化したチョッパでは、インターリーブ技術を適用できる。これらの技術を組み合わせることで、チョッパ単一と比較して制御帯域を8倍に拡張し、制御応答の高応答化



第1図 BS350回路構成

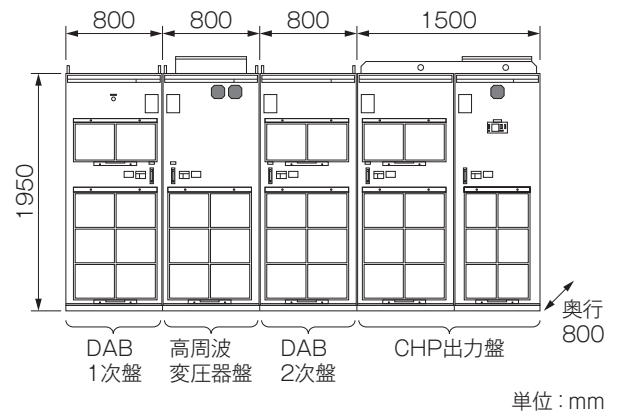
BS350は、DABを用いてチョッパを2直列・4並列化することで、高電圧・大電流・高応答を実現する。

を達成した。同時に、出力電圧・電流リプルの低減効果が得られ、受動部品の小形化に寄与した。

## 2.2 盤構造

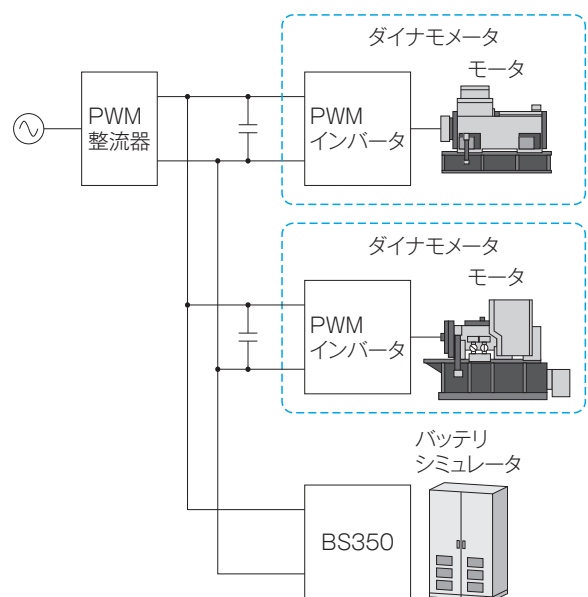
BS350は、DAB 1次盤・高周波変圧器盤・DAB 2次盤・チョッパ出力盤の合計4面の列盤構成で、それぞれDAB回路中1次側回路・DAB回路中高周波変圧器・DAB回路中2次側回路・チョッパ回路に対応する。第2図にBS350の外形寸法を示す。

第3図に電動車両用駆動系評価システムの装置構成概略を示す。2軸のドライブトレインベンチでは、



第2図 外形寸法

BS350は、4面の列盤で構成される。



第3図 電動車両用駆動系評価システムの装置構成概略

2軸ドライブトレインベンチでは、2台のダイナモメータを使用し、電動車両ではバッテリーシミュレータが加わる。

## 第1表 製品仕様

BS350の仕様を示す。

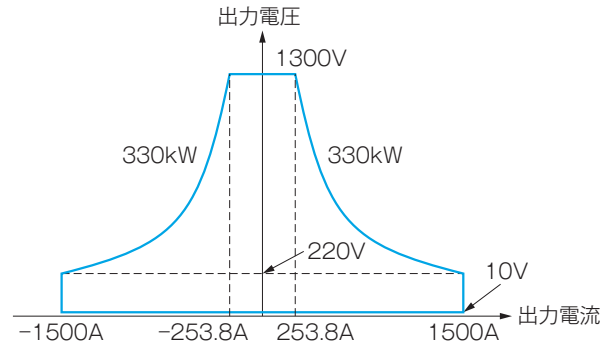
項目	仕様	
回路方式	マルチレベル・インターリーブ方式 (単相インバータ2直列・4並列接続)	
定格容量	330kW	
最大直流出力電圧	1300V	
最大直流出力電流	1500A	
制御可能最低電圧	10V	
定格DC入力	750V	
定格AC入力 (専用コンバータ盤使用)	440V ± 10% (60Hz ± 5%) 400V ± 10% (50Hz ± 5%)	
出力定格	A0種 (100%連続)	
指令値設定方式	アナログ入力, CAN通信	
制御方式	定電圧制御 定電流制御 内部抵抗制御	
制御精度*1	定電圧制御	0.4% (対最大直流出力電圧)
	定電流制御	0.5% (対最大直流出力電流)
設定分解能	定電圧制御	0.1V (CAN通信時)
	定電流制御	0.1A (CAN通信時)
	内部抵抗制御	1mΩ (CAN通信時)
設定可能範囲	定電圧制御	0 ~ 1300V
	定電流制御	-1500 ~ 1500A
	内部抵抗制御	0 ~ 2Ω
制御応答性*1	定電圧制御	20ms (指令値の63%までの到達時間)
環境	周囲温度	0 ~ 40℃, 年間平均25℃以下
	相対湿度	85%以下 (結露しないこと)
	標高	1000m以下
	設置	列盤構成, 前面メンテナンス
	冷却方式	強制空冷
	その他	腐食性ガス, じんあいが無いこと

注: ※1: 当社試験条件における性能

ダイナモメータ制御装置 THYFREC VT350DY-H4700 2台とBS350を組み合わせた試験システムを構築する。BS350は上記装置と高さを共通としているため、これらを列盤配列にできる(第2図参照)。

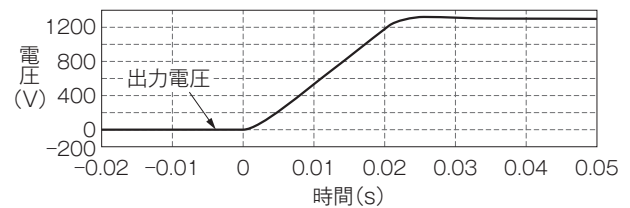
## 2.3 製品仕様

第1表にBS350の製品仕様を、第4図に電圧・電流の出力範囲を示す。定電圧制御・定電流制御・内部抵抗制御の3種類の制御モードに対応している。内部抵抗制御は、定電圧制御にバッテリー内部抵抗模擬動作を加えた制御である。



第4図 BS350の電圧・電流出力範囲

BS350の定格容量は330kWで、10Vから1300Vまでの電圧範囲と、±1500Aの電流範囲で運転できる。



第5図 電圧応答性

出力電圧0Vから1300Vまでのステップ応答波形を示す。オーバーシュートを抑制しつつ短時間で目標電圧に収束することを確認した。

## 3 性能確認結果

### 3.1 評価システム

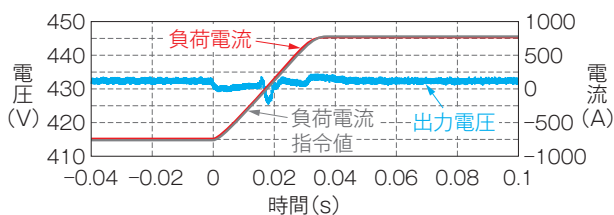
BS350の評価では、BS350を2台対向させ、一方を定電圧制御、もう一方を定電流制御で運転させることで電圧・電流特性を測定した。なお、電圧応答性の評価時には定電圧制御側のみを運転し、無負荷状態としている。

### 3.2 電圧応答性

第5図に無負荷条件での電圧指令値を0Vから1300Vまでステップ変化させた場合の電圧応答性を示す。オーバーシュートは1.6% (対最大直流出力電圧) で、指令値のステップ変化から30msで製品仕様の電圧制御精度0.4% (対最大直流出力電圧) の範囲に収束する。

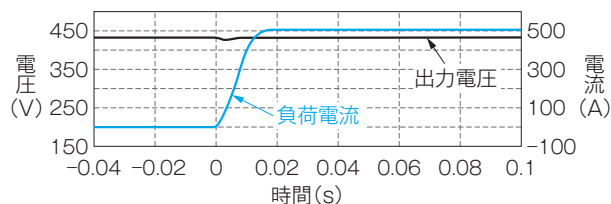
### 3.3 定電圧制御特性

第6図に出力電圧指令433V条件で負荷を

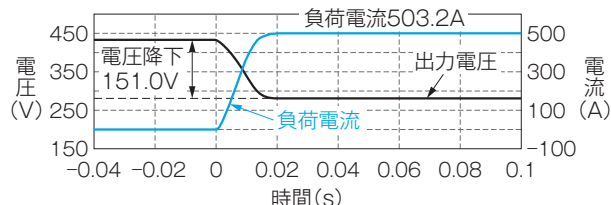


第6図 負荷急変に対する出力電圧・負荷電流波形

出力電圧433Vで±330kWの負荷を21.7kW/msの速さで急変した条件でも、出力電圧変動を9V未満に抑制できることを確認した。



(a) 内部抵抗設定値=0Ωの場合



(b) 内部抵抗設定値=0.3Ωの場合

第7図 内部抵抗を設定した場合の出力電圧・負荷電流波形

バッテリー内部抵抗を模擬した内部抵抗制御では、負荷電流の変化に応じて出力電圧を低減させ、バッテリー内部抵抗による電圧降下を再現できることを確認した。

−330kW (−770A) から+330kW (+770A) まで21.7kW/ms (50A/ms) の変化率で負荷急変した場合の出力電圧・負荷電流波形を示す。急峻な負荷変動に対しても、出力電圧変動は0.7% (対最大直流出力電圧) 未満に抑制できている。また、定電流制御もオーバーシュートなく指令値変化に追従している。

### 3.4 内部抵抗制御特性

第7図に出力電圧指令433V条件で負荷電流を0Aから+500Aまで50A/msの変化率で負荷急変した場合の出力電圧・負荷電流波形を示す。内部抵抗の設定値が0Ωの場合、出力電圧は負荷急変に対して433V一定に制御できている。一方、内部抵抗設定値が0.3Ωの場合、出力電流条件503.2Aで電圧降下値が151.0Vとなり、計算される抵抗値0.300Ωは設定値と一致する。負荷急変中も負荷電流の変化に応じて電圧降下値を遅れなく制御している。

## 4 むすび

バッテリーシミュレータ THYFREC BS350を紹介した。従来機種と比較し、出力電圧を750Vから1300V、出力電流を500Aから1500Aとそれぞれ動作範囲を拡大しつつ、負荷急変時の電圧変動を低減した。

今後も自動車メーカーのEV開発に貢献するため、機能向上や新機能開発に取り組んでいく所存である。

・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》



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



武士沢 慎太郎  
Shintaro Bushizawa

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



長谷川 勇  
Isamu Hasegawa

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