

エネルギーアシストユニット “MR-EAU100K4”

神田善則*
今孝公*
三輪真大*

Energy Assist Unit "MR-EAU100K4"

Yoshinori Kanda, Takayuki Kon, Masahiro Miwa

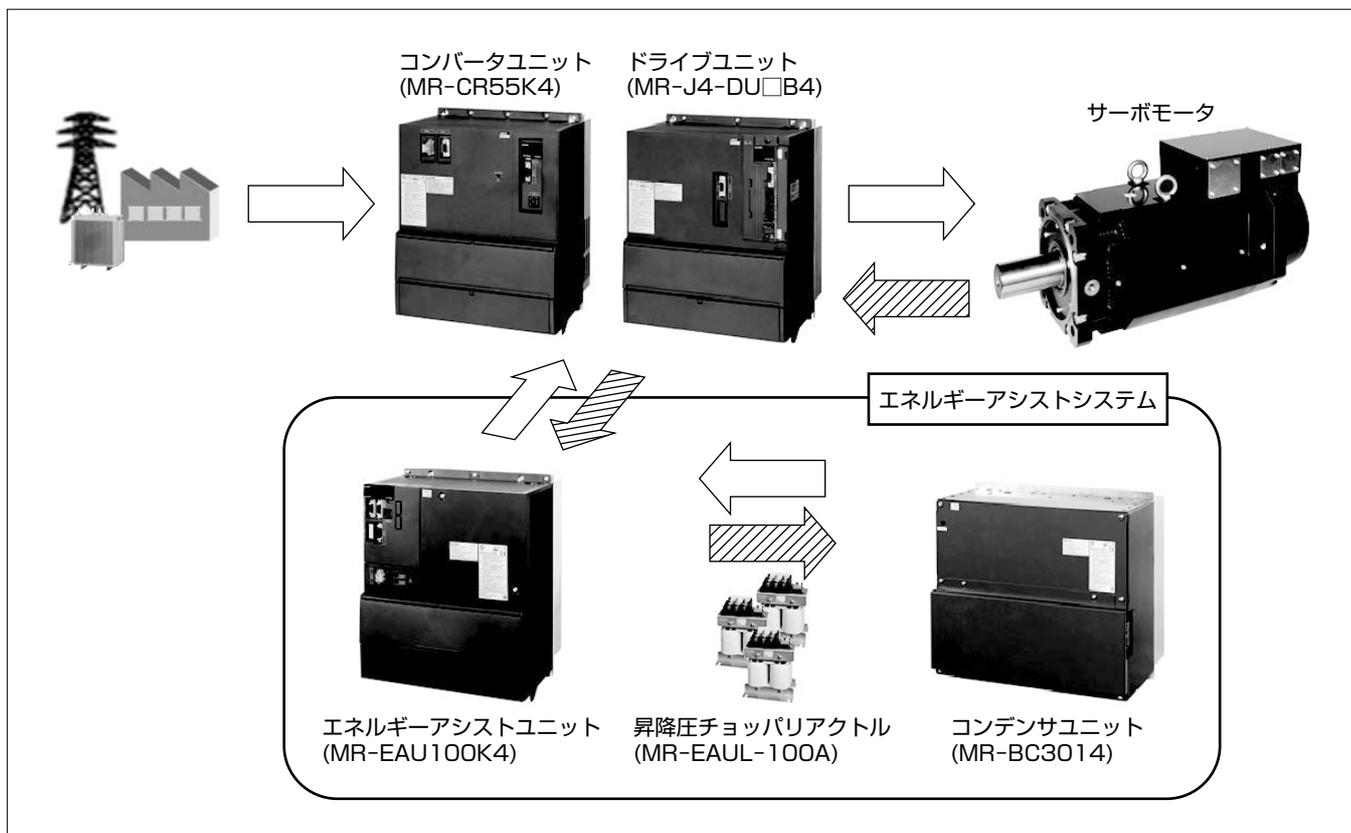
要旨

近年、装置の高性能化、高タクト化の要求から、サーボモータを使用した装置が増加している。サーボモータは瞬時に定格の約3倍のトルクを出力でき、装置の高速化によって産業機械の生産性向上に貢献できる。一方で必要とする瞬時電力も多くなるため、大容量サーボシステムを導入するにあたって既存の電源設備の瞬時電力が不足する場合、電源設備の新設や電源系統の見直しが必要となるという課題がある。

そこで、大容量のサーボシステムを対象とした、電源からの瞬時供給電力を抑制するオプションユニットとしてエネルギーアシストユニット“MR-EAU100K4”を開発した。

エネルギーアシストユニットは昇降圧チョッパ制御用のリアクトル、及びエネルギーをためておくコンデンサユニットで構成(以下“エネルギーアシストシステム”という。)している。サーボモータが加速(力行)動作する際には、コンデンサのエネルギーを昇圧制御することでドライブユニットに電力を供給し、サーボモータが減速(回生)動作する際に、サーボモータが発生する回生エネルギーを降圧制御することで、コンデンサへ蓄電する仕組みである。

昇圧制御、降圧制御の切換えには状態遷移を用いて、サーボの運転状態をエネルギーアシストユニットに伝えることなく、自動的にモードを切り換える機能を備えている。



電源供給電力のピークカットの実現

サーボモータは瞬時に定格の約3倍のトルクの出力が可能であるが、大容量化による電源からの瞬時供給電力が非常に大きくなるという課題があった。エネルギーアシストシステムはエネルギーアシストユニット、昇降圧チョッパリアクトル及びコンデンサユニットで構成しており、サーボシステムに取り付けることによって、瞬時の大きな消費電力をアシストすることで電源からの供給電力を低減することを可能とする。

1. ま え が き

近年、産業機械は装置の高性能化、高タクト化の要求から、三相誘導モータや油圧アクチュエータのサーボモータへの置き換えが進んでいる。特に大型のプレス装置や射出成形機では、サーボモータ使用による生産性の向上、省エネルギー、オイルフリーなどの利点から、サーボシステムを適用した電動化が進んでいる。

サーボモータは瞬時に定格の約3倍のトルクを出力できるというメリットがある一方、必要とする瞬時電力も増加する。そのため、大容量サーボシステムを導入するにあたって既存の電源設備では瞬時電力が不足する場合があります。電源設備の新設や電源系統の見直しが必要となる。電源設備容量の見直しによる大容量キュービクルの導入や契約電力の変更には、非常に高いコストがかかるため、電源設備の小さなユーザーへの大容量サーボを用いた設備の導入は困難であるという課題があった。

そこで、課題を解決するために、電源設備容量の強化をすることなく、サーボモータが瞬時消費電力を必要とする場合でも電源から供給する瞬時電力を抑制することができる、エネルギーアシストユニットを開発した。

2. エネルギーアシストシステム

2.1 エネルギーアシストシステムとは

エネルギーアシストユニットは大容量サーボシステムを構成するコンバータユニットとモータにPWM(Pulse Width Modulation)電圧指令で正弦波電流を供給するドライブユニットに接続されるため、コンバータユニットやドライブユニットと同様にブックエンドタイプのユニットにすることで両ユニットとの密着取付を可能としている。エネルギ

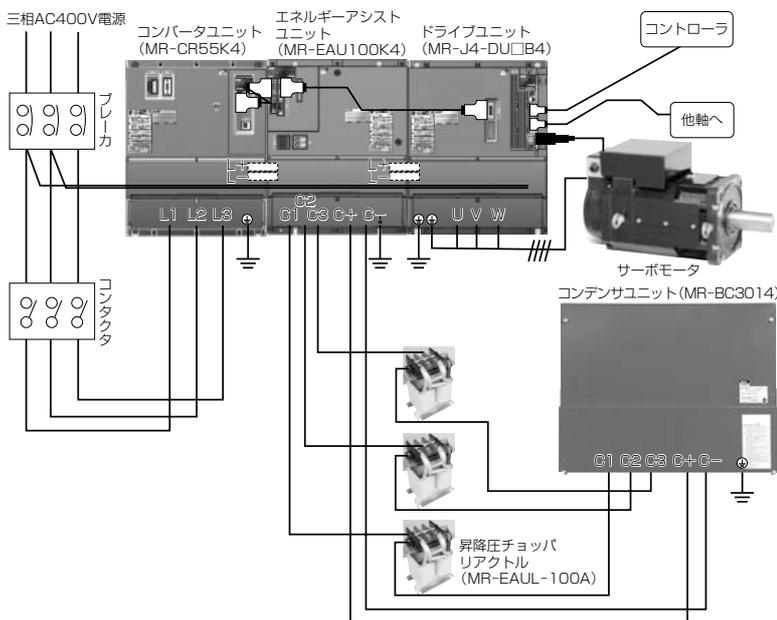


図1. エネルギーアシストシステムの構成

ーアシストユニットは昇降圧を行うためのリアクトルを介してエネルギーを蓄電するコンデンサユニットに接続され、エネルギーアシストシステムを構成する(図1)。

2.2 エネルギーアシストシステムの動作

エネルギーアシストユニットはサーボモータの加速時(力行時)にあらかじめコンデンサユニットにためたエネルギーを母線電圧側へ供給することで、モータ駆動に必要な電力をアシストする。

また、モータの減速時(回生時)に発生する回生エネルギーをコンデンサに充電する。ためたエネルギーは次回加速時に再利用するため、従来は回生抵抗で熱消費していたエネルギーを有効活用でき、省エネルギーとしても効果がある(図2)。

3. エネルギーアシスト制御

3.1 昇降圧チョッパ制御

エネルギーアシストシステムの概略回路は図3のようになっており、エネルギーアシストユニット内の半導体素子と外付けのリアクトルによって昇降圧チョッパ制御を行う。

サーボモータが加速する際のエネルギーをアシストする場合、半導体素子の下アームを制御し、コンデンサユニット内の電圧を母線側へ上昇させる。また、モータ減速時は上アームを制御し、母線電圧を下降させ、コンデンサユニットへ充電する。

エネルギーアシストユニットの制御における大きな特徴としては、図4のように3重チョッパ制御を行っている点であり、これによって半導体素子に対して、大容量のエネルギー供給を行うための電流及びパワーサイクルへの影響を軽減している。また、安定したアシストを実現するため母線電圧側の電圧リプルを抑えるため、位相変更処理を行うことも大きな特徴である。

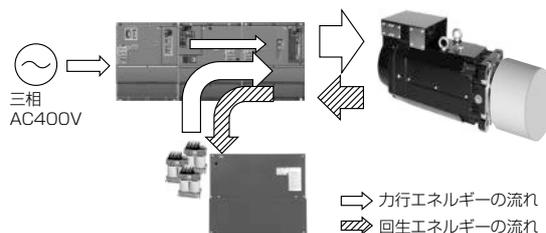


図2. エネルギーアシストシステムとエネルギーの流れ

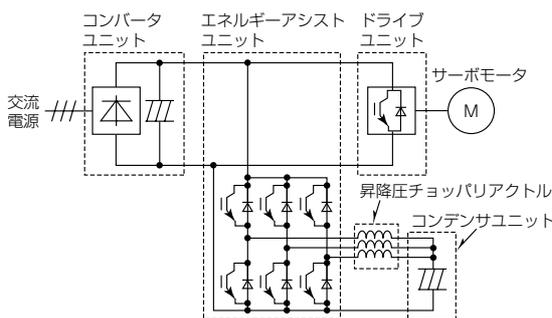


図3. エネルギーアシストシステムの概略回路

3.2 エネルギーアシスト制御

図5のようにエネルギーアシストシステムは、初期充電制御モード、アシスト(昇圧)制御モード、回生(降圧)制御モード、補充充電制御モードの4つの制御モードからなっており、コンバータ準備が完了後にエネルギーアシスト駆動信号によって初期充電制御モードを経て、その後、サーボモータの力行/回生に応じて自動的にアシスト/回生制御を行う。次に各制御モードについて述べる。

3.2.1 初期充電制御

アシスト動作を実施するためにはまず始めにエネルギーをためることが必要である。

一般的に回生時のエネルギーの有効活用としては母線に大容量のコンデンサを設置することが知られている。しかし母線に大容量のコンデンサを取り付けると電源投入時の突入電流が過大となるため、それを抑制するための大容量の突入抑制回路が必要となり、サイズが大きく、充電に時間がかかるという課題がある。また、初回の加速時には回生がない状態のため、十分なエネルギーがなく仕様を満足することができないことも課題である。

これに対しエネルギーアシストは初回のモータ動作の前に高精度な電流制御による初期充電を実施している。これによって、エネルギーアシストシステムに大容量のコンデンサを搭載しても突入抑制回路が不要となり、また初回の動作から仕様どおりのアシスト動作を可能とする。

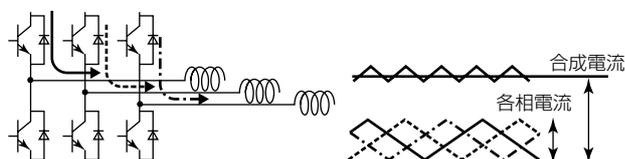


図4. 3重チョップパ回路による電流分散

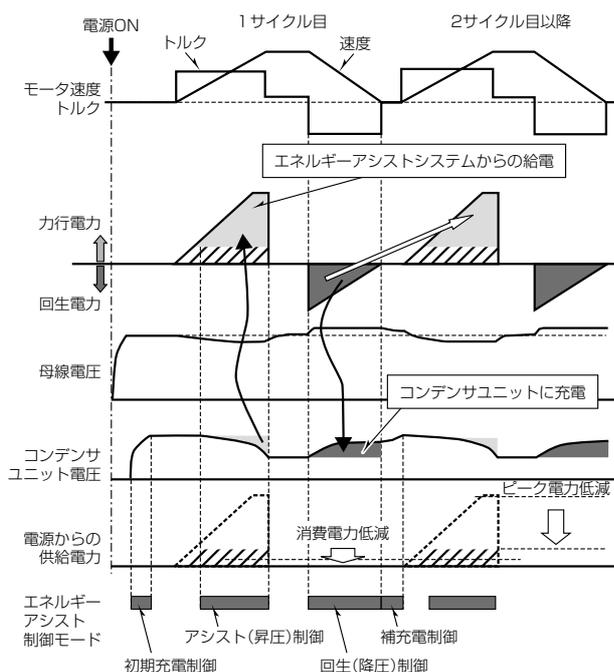


図5. エネルギーアシストシステムの基本動作シーケンス

3.2.2 アシスト(昇圧)制御

アシスト制御は高精度に母線電圧とコンデンサ電圧を検出し、消費エネルギーの増加に伴う、母線電圧の低下量を制御対象とし、電源側からコンバータへ供給される電力が一定となるように制御を実施する。

3.2.3 回生(降圧)制御

サーボモータは瞬時に定格の約3倍のトルクを出力できるため、モータが急減速する際には非常に大きな回生エネルギーが発生し、母線電圧が急激に上昇する。エネルギーアシストユニットは先に述べた高精度な電圧検出とともにモータ駆動の制御周期よりも高速に処理を実施することで約100kWという急峻(きゅうしゅん)かつ大きな回生電力に対しても追従した回生動作を可能にしている。

3.2.4 補充充電制御

一般的には装置にはメカ的なロス等があり加速時の必要エネルギーより減速時の回生エネルギーの方が小さくなる。そのためエネルギーアシストユニットは回生制御が終了後に基準となるレベルまで補充電を行い、常に同量のアシスト量を確保して繰り返し精度を保つことができる。

この補充電は射出成形機のように回生が発生しない装置へのピーク電力カットに対しても有効な機能である。

4. メンテナンス性

エネルギーアシストを実施する際にはコンデンサユニットに充電されたエネルギーを使用するため、コンデンサユニットの経年劣化を考慮する必要がある。コンデンサの容量が減少しすぎると図6のようにアシストに使用できるエネルギーが不足し、仕様を満足しなくなる可能性がある。

この課題を解決するために、初期充電中にコンデンサ容量を推定し、容量値が仕様を満足していないレベル直前まで低下した際はユーザーに容量不足を知らせる“コンデン

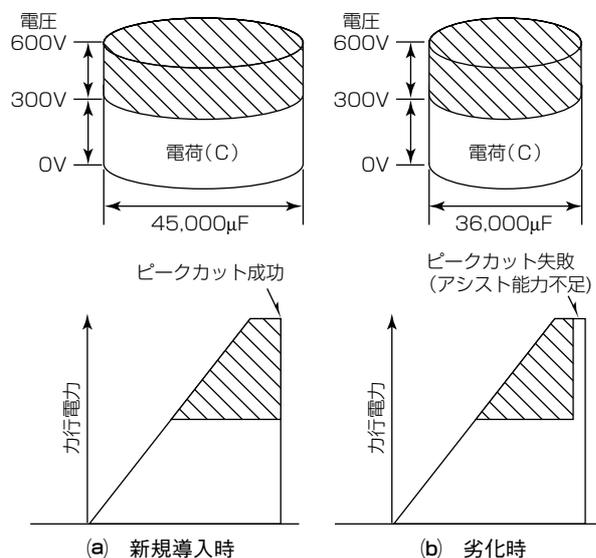


図6. コンデンサ容量劣化イメージ

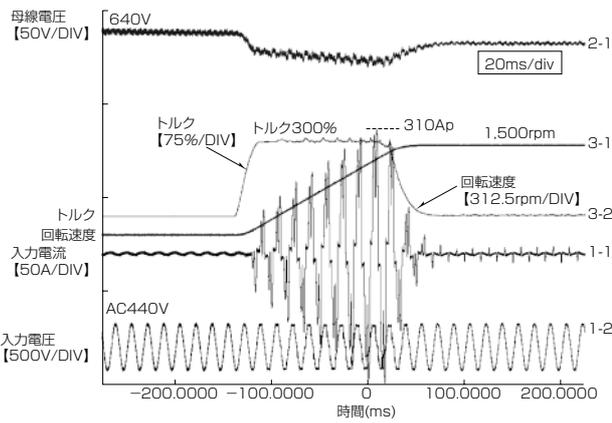


図7. ステップ加速時の従来構成での検証波形

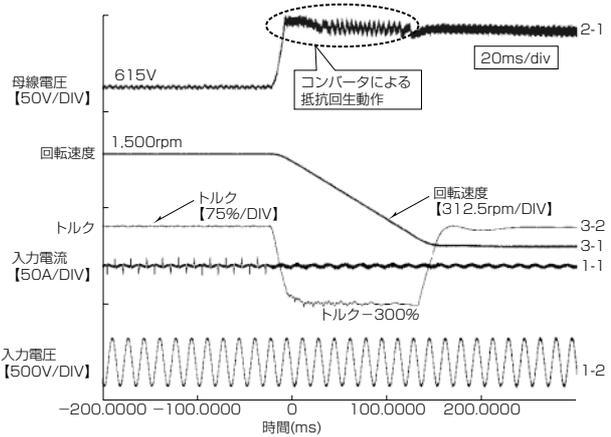


図9. モータ減速時の従来構成での検証波形

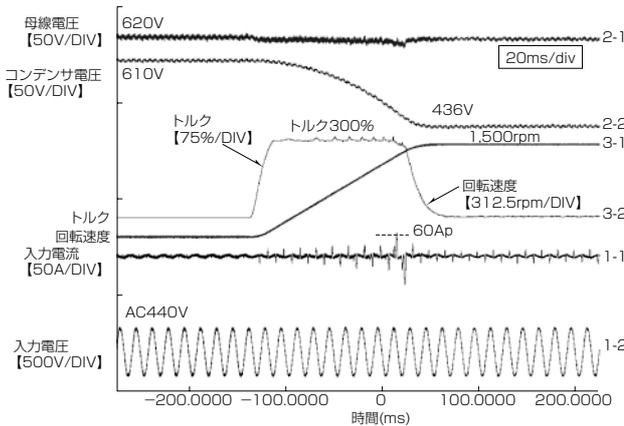


図8. ステップ加速時のエネルギーアシスト導入での検証波形

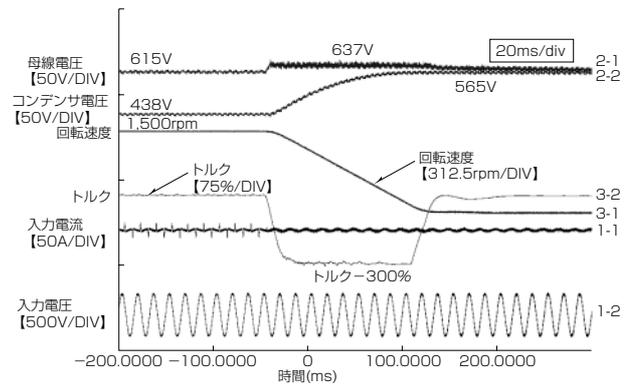


図10. モータ減速時のエネルギーアシスト導入での検証波形

“容量推定機能”を開発した。これによって完全に仕様が満たさなくなる前に交換品の準備を可能とする。この機能の特徴は、初期充電中に同時に行うことで追加の測定装置や専用の推定モードが不要となることである。

5. 導入効果

大きな瞬時消費エネルギーを要する動作をさせ、従来のシステム構成とエネルギーアシストを適用した構成でエネルギーアシスト導入の効果を検証した。次にアシスト制御によるピークカット効果と回生制御による回生エネルギーの有効活用効果について述べる。検証は次の条件で実施した。

- (1) 入力電圧：AC440V、モータ“HG-JR55K1M4”
- (2) 定格出力55kW、定格回転速度1,500r/min
- (3) 慣性モーメント $1.637(10^{-4}\text{kg}\cdot\text{m}^2)$
- (4) 負荷：負荷慣性モーメント $9,500(10^{-4}\text{kg}\cdot\text{m}^2)$
- (5) 動作パターン：1,500r/minステップ加減速

5.1 ピークカット効果(アシスト制御効果)

図7、図8に従来のシステムとエネルギーアシストを導入した場合の測定波形を示す。

従来のシステム構成では、図7のように電源の入力電流ピーク値が約310Apとなりピーク電力は約130kWとなる。

一方、エネルギーアシストシステム導入ではピーク電流は60Apとなり電源供給電力は30kWまで低減でき、従来の

システムと比較し100kWのピークカットを実現できていることが確認できる。

5.2 エネルギー有効活用効果(回生制御効果)

図9、図10は従来のシステムとエネルギーアシストを導入した場合のモータ急減速時の測定波形である。

従来のシステム構成では、図9のように回生エネルギーによって母線電圧が急上昇し、コンバータの回生機能によって回生抵抗でエネルギーの消費(熱として放出)の状態となっている。

一方、エネルギーアシストシステム導入では母線電圧を一定に制御することで、上昇を防ぎ全回生エネルギーをコンデンサユニットに充電することができ、モータ及び負荷の慣性モーメントからの概算回転エネルギー($E=1/2J\omega^2$)の約13,000Jのエネルギーを有効活用できていることが分かる。

6. むすび

エネルギーアシストシステムを用いることで、従来課題であった大容量サーボシステムの導入時の入力電力ピークカットを実現できるので、電源環境に問題をかかえている顧客に提供していきたい。

また、世の中の様々な装置やニーズを取り入れ、多くの顧客が満足できる製品・機能開発に努めていく所存である。