

多機能回生コンバータ“FR-XCシリーズ”

平良 哲*
道祖尾竜太*

Multifunction Regeneration Converter "FR-XC Series"

Satoshi Taira, Ryuta Saino

要 旨

インバータでモータを駆動する際、減速時や昇降機の下降時で、モータが発電機となり回生エネルギーが発生する。回生コンバータは、この回生エネルギーを電源に返して再利用することで大きな省エネルギー効果が得られるため、近年の省エネルギー・環境意識の高まりから需要が高まっている。

従来、三菱電機では用途・目的に応じて“FR-CV(共通母線回生コンバータ)”, “FR-RC(回生専用コンバータ)”, “FR-HC2(PWM(Pulse Width Modulation)回生コンバータ)”の3種類の回生コンバータをラインアップしてきた。

今回、これら3種類の回生コンバータの機能を全て包含し、さらに小型化・省配線化を実現してシステム対応力を大幅に強化した多機能回生コンバータ“FR-XCシリーズ”

を新たに開発した。

FR-XCシリーズの特長を次に示す。

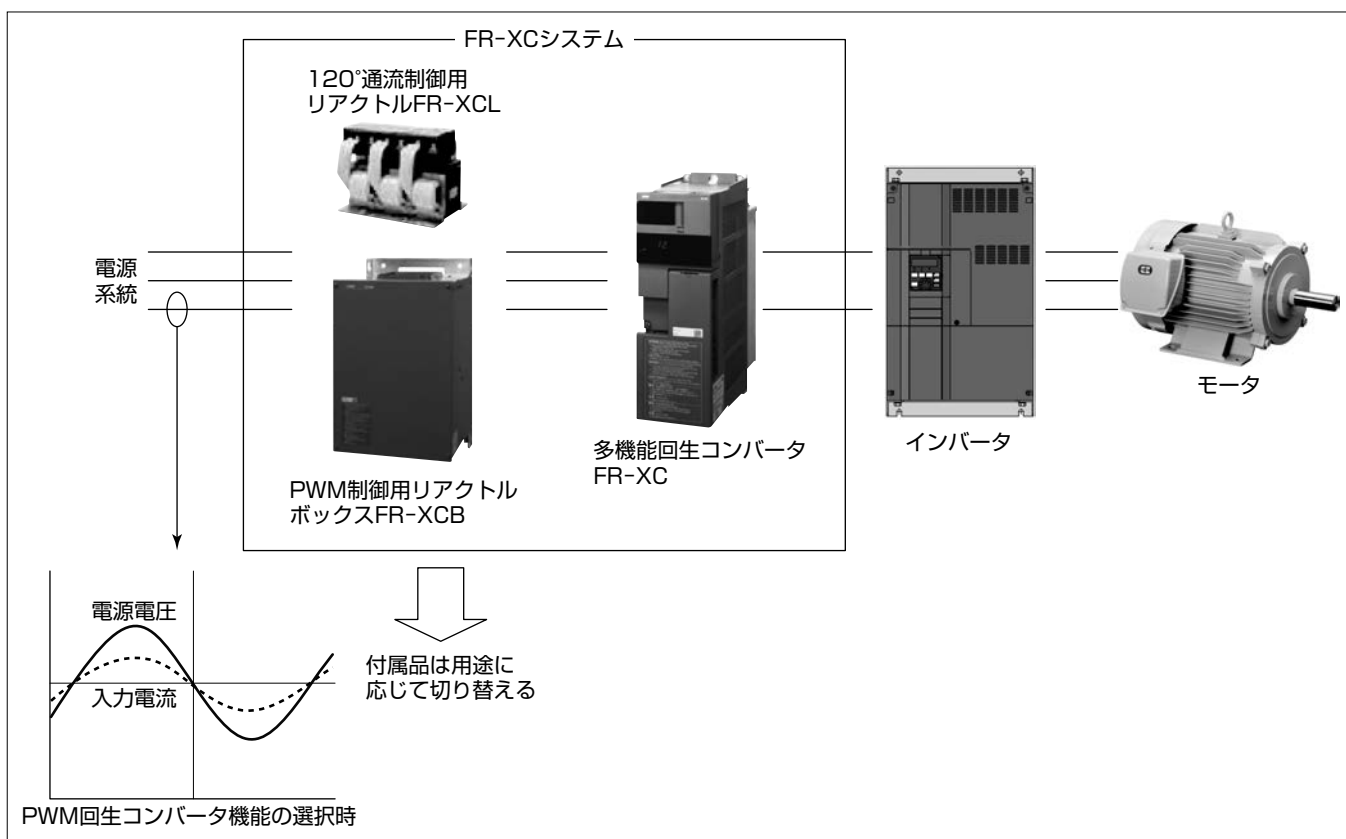
- (1) 三つの回生方式に対応可能な高いシステム対応力
- (2) PWM回生コンバータ機能での小型化と省配線化

新方式フィルタ回路の採用、付属品のワンパッケージ化によって、従来機FR-HC2に比べ、据付け面積58%、配線工数52%を実現。

- (3) 回生専用コンバータ機能での小型化

新方式予備充電回路の採用によって、従来機FR-RCに比べ、据付け面積45%を実現。

とりわけPWM回生コンバータ機能では、機能・性能を維持しながら、従来機種FR-HC2の市場要求(小型化・省配線化)に対応した。



3種類の回生コンバータの機能を包含した多機能回生コンバータ“FR-XCシリーズ”

回生エネルギーを処理する方法として、回生コンバータの適用がある。抵抗による回生エネルギーの熱変換方式よりも、回生コンバータを用いることで回生エネルギーを電源側に返して再利用が可能となるため、大幅な省エネルギー効果と大きな制動能力が得られる。従来、当社では用途に応じて3種類の回生コンバータをラインアップしていたが、今回それらの機能を包含し、さらに小型化と省配線化を実現したFR-XCシリーズを開発した。

*名古屋製作所

1. ま え が き

インバータでモータを駆動する際、減速時や昇降機の下降時で、モータが発電機となり回生エネルギーが発生する。このような場合に回生コンバータを適用することで、回生エネルギーの再利用によって大きな省エネルギー効果が得られ、またシステムの小型化が図れる。

回生コンバータには用途・目的に応じて、複数の種類が存在する。当社では、これまで3種類の回生コンバータをラインアップしてきたが、これらの回生コンバータの機能を全て包含した多機能回生コンバータFR-XCシリーズを今回新たに開発した。

通常、それぞれの回生コンバータは、その特徴に応じて内部ハードウェア回路構成や必要な付属品などが異なるため、単純に機能を包含するだけでは、コンバータサイズの大型化を招く。そこで今回FR-XCシリーズの開発では、様々な取組みによって、機能を包含しながらも小型化を実現し、さらに従来のPWM回生コンバータで改善が望まれていた省配線化も実現した。

次に、この多機能回生コンバータFR-XCシリーズの特長と開発での取組みについて述べる。

2. 回生コンバータの種類と特長

当社は、用途・目的に応じて従来3種類の回生コンバータをラインアップしていた。これらの種類と特長について述べる。

2.1 共通母線回生コンバータFR-CV

電源相電圧の最も大きい／小さい相のIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)を120°間ONする120° 通流制御方式のコンバータである。高調波抑制機能や力率改善機能はないものの、100%連続回生、及び150%-60sの短時間回生と大きな制動能力が得られ、コンバータ本体と前段のリアクトル1個で構成可能であり、低コスト・小型な回生コンバータである。また、後段に複数台のインバータを接続する共通母線接続が可能であり、力行／回生が混在するシステムでは、更に大きな省エネルギー効果が得られる(図1)。

2.2 回生専用コンバータFR-RC

共通母線接続や高調波抑制機能には対応できないが、回生エネルギーだけが回生専用コンバータを通過する接続方式となっており、力行エネルギーに影響されず回生エネルギーだけでコンバータ容量の選定が可能である。例えば、機械ロスが大きいシステムで、力行エネルギーと比較して回生エネルギーが大幅に小さくなる場合があり、回生専用コンバータを適用することで、コストミニマムな電源回生システムが構成できる(図2)。

2.3 PWM回生コンバータFR-HC2

100%連続回生、及び150%-60sの短時間回生と大きな

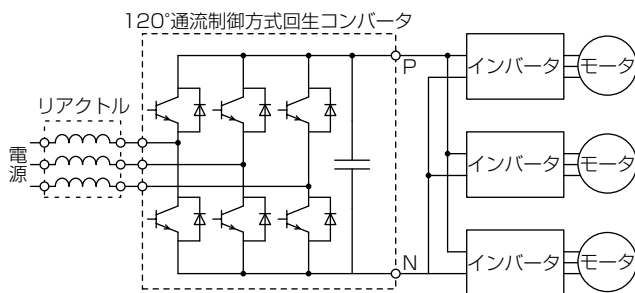


図1. 共通母線回生コンバータの内部回路と基本接続図

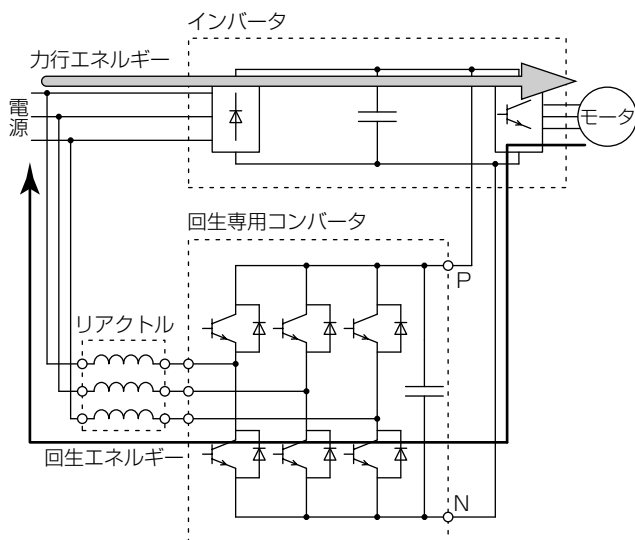


図2. 回生専用コンバータの内部回路と基本接続図

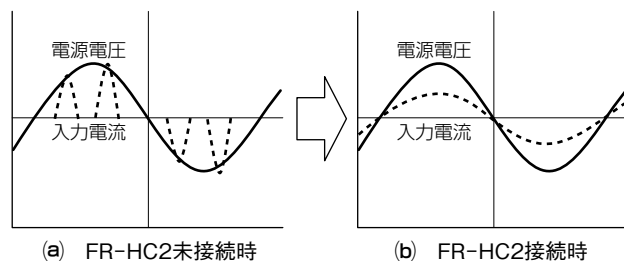


図3. PWM回生コンバータFR-HC2接続による入力電流波形改善

制動能力が得られるほか、大きな特長として高調波電流をほぼゼロにすることができ、特定需要家高調波抑制対策ガイドラインで換算係数 $K5 = 0$ を適用できる。さらに入力力率をほぼ1に制御できるため電源設備の小型化が可能である(図3)。

一方、PWM回生コンバータ本体の他に2個のリアクトルと、フィルタ用コンデンサ等を搭載した機器の計3個の付属品を接続する必要があるため、据付け面積が大きい、配線工数が多いといった問題もあり、改善が望まれてきた。

3. 多機能回生コンバータFR-XCの特長

今回開発した多機能回生コンバータFR-XCは、100%連続回生、150%-60sの短時間回生と大きな制動能力は当然ながら、従来の3種類の回生コンバータの機能を包含し

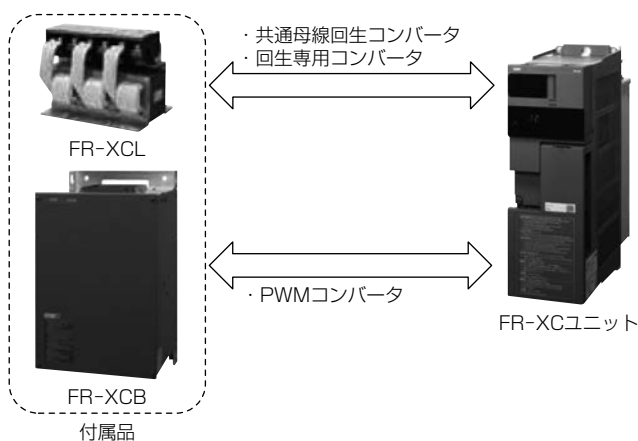


図4. FR-XC機能に応じて接続する付属品

ている。付属品(図4)を付け替えることでFR-CV, FR-RC, FR-HC2の3種類の回生コンバータの機能に対応する。さらに様々な取組みによって、付属品を含めた回生コンバータ機器の小型化・省配線化を実現した。

今回、PWM回生コンバータ機能での小型化・省配線化、及び回生専用コンバータ機能での小型化の取組みについて述べる。

4. PWM回生コンバータ機能での小型化・省配線化

従来のPWM回生コンバータFR-HC2では、コンバータユニットの他に3個の付属品を接続する必要があり、据付け面積が大きい、配線工数が多いといった問題があり改善が望まれてきた。

今回、FR-XCのPWM回生コンバータ機能では、これらの問題を次の二つの手法を用いて改善した。

- (1) 新方式フィルタ回路の適用
- (2) リアクトルの強制空冷によるフィルタ回路のワンパッケージ化

これら二つの取組みの結果、FR-XCのPWM回生コンバータ機能では、従来機種FR-HC2に比べて据付け面積は58%、配線工数は52%と、従来機種で市場から要求されていた大幅な小型化・省配線化を達成した。

4.1 新方式フィルタ回路の適用

PWM回生コンバータは、高周波でスイッチングをするため、キャリア周波数に起因する高周波リプル電流が系統電源に流出しないよう、図5に示すようなローパスフィルタ回路(以下“フィルタ回路”という。)を接続する必要がある。このフィルタ回路の特に主動力電流が流れる2個のリアクトルの外形が大きく、PWM回生コンバータを適用する際の据付け面積増大を招いている。

一般的にリアクトルを小型化するためには、キャリア周波数を高くし、L値を小さくすることが考えられるが、一方でIGBTのスイッチングロスが大きくなり、コンバータユニットが大型化してしまう。

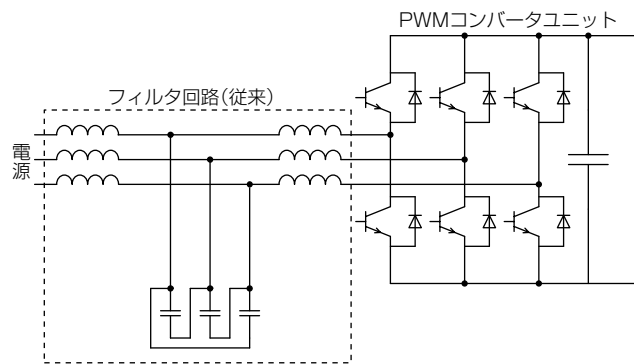


図5. 従来のフィルタ回路の構成

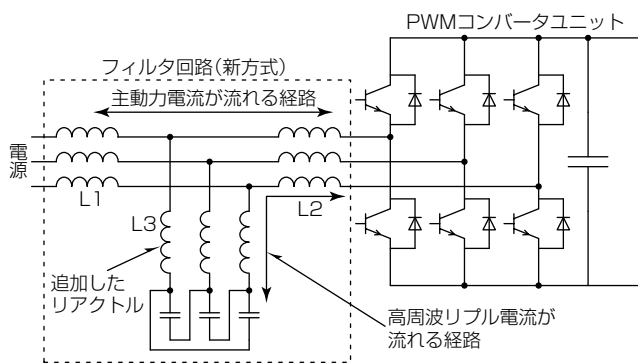


図6. 新方式フィルタ回路の構成

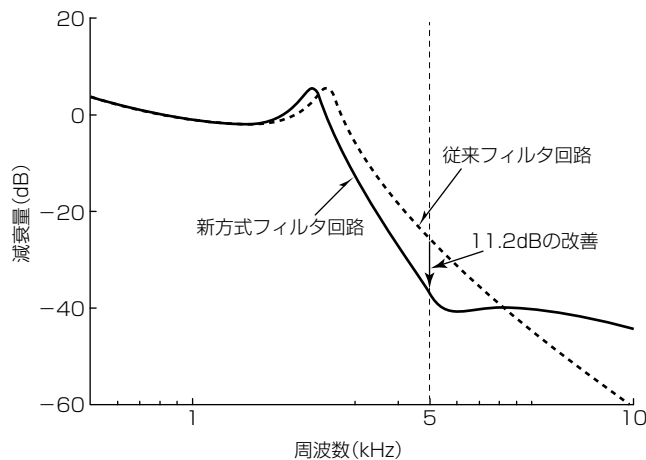


図7. 減衰特性の比較

そこで今回、新方式のフィルタ回路を適用することで、キャリア周波数を高くすることなくL値を小さくすることに成功した。図6は、今回適用した新方式フィルタ回路の構成である。

従来、L-C-L構成となっていたフィルタ回路に対して、Cと直列にリアクトルを追加することで、多段の高次フィルタ回路を構成し、キャリア周波数を高くすることなく、より大きな減衰特性を得ることができる。図7の従来フィルタ回路と新方式フィルタ回路の減衰特性の比較から分かるように、減衰特性を11.2dB改善できる。

なお、主動力電流が流れる経路にあるL1及びL2に対して、今回追加したL3の経路は高周波リプル電流しか流れ

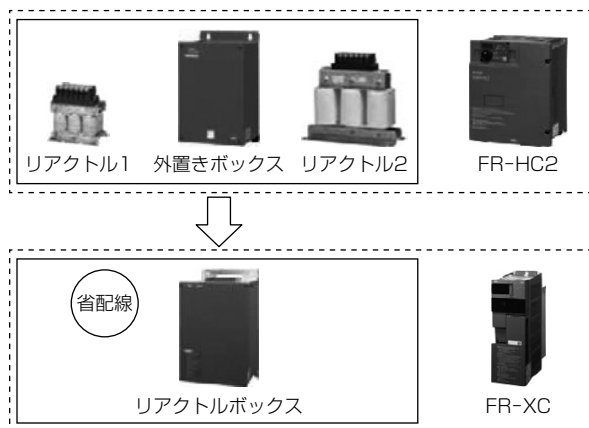


図8. PWM回生コンバータのフィルタ回路ワンパッケージ化

ず、電流実効値としてはおおよそ1/10程度である。そのため、リアクトルの個数は増えているものの、L3が小型であるため、フィルタ回路としては小型化が可能となる。

4.2 リアクトル強制空冷化によるワンパッケージ化

4.1節で述べたように、PWM回生コンバータには複数に分かれたフィルタ回路が必要であり、それらの結線作業が必要なため配線工数の増加を招いていた。

そこで今回、前述した新方式フィルタ回路の適用のほかに、リアクトルを強制空冷方式として更に小型化した上で、従来分かれていた付属品を同一筐体(きょうたい)内に収納してワンパッケージ化(図8)した。

5. 回生専用コンバータ機能での小型化

回生専用コンバータ機能を包含する際、従来の予備充電回路を流用するとコンバータユニットが大型化する。今回対策として適用した、新方式の予備充電回路について述べる。

5.1 新方式予備充電回路の適用

従来の回生専用コンバータFR-RCでは、電源投入時の初期充電電流を抑制するための回路が大型となっている。図9に回生専用コンバータFR-RCの初期充電電流の経路を示す。

回生専用コンバータの入力側を通るルート(初期充電電流経路B)とは別に、インバータ側を經由して回生専用コンバータのコンデンサを充電するルート(初期充電電流経路A)も存在するため、この経路にもマグネットコンタクト(以下“MC”という。)を追加する必要がある、結果的にコンバータユニット内にMCが3個存在することになる。

そこで、今回対策として、図10に示す新方式の予備充電回路を適用した。ダイオードが接続された回生専用コンバータ用P端子を追加し、また回生専用コンバータの予備充電回路の位置を変更した。

これによって、初期充電電流経路A及びBの双方に対して、回生専用コンバータ内の予備充電回路で初期充電電流

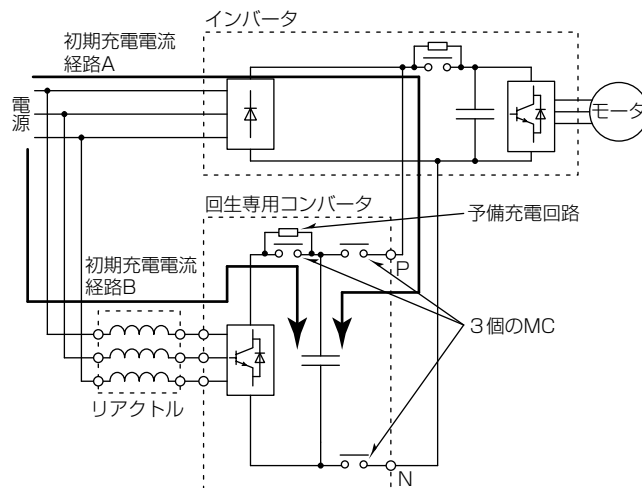


図9. FR-RCでの予備充電回路とMC

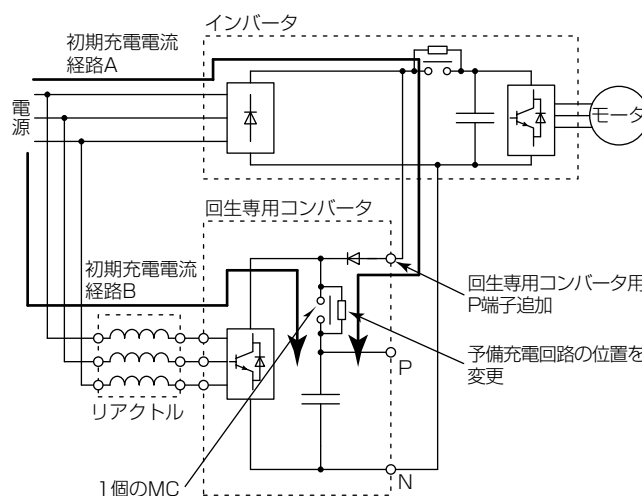


図10. FR-XCでの新方式予備充電回路とMC

の抑制が可能であり、従来3個あったMCを1個に削減できる。また、必要となるMCコイル駆動用電源容量も小さくできるため、電源生成用プリント基板の数やサイズも削減できる。

新方式予備充電回路を適用したことでFR-XCでは、従来機種FR-RCに比べて据付け面積は45%、体積は30%と大幅な小型化を達成した。

6. むすび

従来、目的・用途ごとにラインアップしていた3種類の回生コンバータの機能を、ユニットサイズを大きくすることなく多機能回生コンバータFR-XCシリーズに包含できた。

とりわけ、PWM回生コンバータ機能では、高い制動能力、高調波抑制機能や力率改善機能はそのままに、従来のFR-HC2で改善が望まれていた大幅な小型化と省配線化も達成した。

今後も市場ニーズに応じて、回生コンバータの容量拡張・対応電圧拡大開発を推進していく。