

電源品質の悪い環境で生じる電源電圧歪みに対応可能な ルームエアコン用インバータ制御の開発

Development of Room Air Conditioners with Adaptive Control to Voltage Distortions in Low Power Quality Environment



相場 謙一*1
Kenichi Aiba

渡辺 貴政*2
Takamasa Watanabe

久原 正和*3
Masakazu Kuhara

家庭用の空調機であるルームエアコンなどに使用されているインバータは、入力電流に電源周波数以外の高調波成分の電流を流出する。この高調波電流には規制があり、これを満たすための対策が必要で対応してきた。一方、電源電圧の波形に歪みがあると入力電流も歪むことで電流が増加し、効率の悪化や場合によっては過電流によるヒューズの熔断に至る問題がある。そこで、当社は、入力電流の歪み率を算出し、これを低減するように制御することで、総合歪み率を1/5~1/2に抑えることができることを確認したので、本報にて報告する。

1. はじめに

近年ルームエアコン市場においてインバータ機が拡大しており、比較的電源品質の悪い国・地域にも広がっている。電源供給が不安定な向け先では停電発生頻度が多く、対策として非常用発電機を導入している事例が多い。発電機は商用電源に対して更に電源品質が悪い場合があり、このような劣悪な電源環境から電気回路の保護を低コストで実現する手法が必要である。

これに対して、入力電流波形から入力電流の歪みを算出し、その歪みが改善する方向へ制御することで、常態的な電源電圧の歪みがある環境でも、入力電流歪みへの影響を打ち消して、安定して動作することができるようにした。これに加え、先述の入力電流波形より、瞬間的な過電流を検知することで、コンバータ制御の電圧振幅変調率を瞬間的に調整し過電流を抑制または即時にコンバータ制御を停止するなどの手法が導入できるようにして、従来対比でより強固な回路保護性能を実現する回路制御方式を構築した。

2. ルームエアコンインバータ

ルームエアコンは、省エネのためにインバータが採用されている。しかし、インバータは交流の電源電圧を整流して直流化するコンバータを内蔵しており、コンバータは電源系統に高調波電流を流出する。この高調波電流は、他の機器に障害を与えることがある。

ビルなどで使用されている店舗用の空調機の場合は、空調機以外の他の機器とともに接続されており、全ての空調機で規制値を満たす必要がないので、高調波対策が必要となったインバータのみオプションとして追設できるアクティブフィルタを開発している。⁽¹⁾

一方、ルームエアコンでは個々に、IEC (International Electrotechnical Commission) などによる高周波規制値を満たすことが求められている。

三菱重工サーマルシステムズ(株)輸出用のルームエアコン SRK シリーズは、この規制を満たすもので、表1に仕様を示す。

この製品では高調波規制を満たすため、コンバータ部は図1のような2組のチョップ回路構成となっている。図の赤矢印で示した部分にかかる電源電圧に対して、コンバータを制御して青矢印

*1 総合研究所 電気・応用物理研究部 主席研究員

*2 三菱重工サーマルシステムズ(株) 空調機技術部 グループ長

*3 三菱重工サーマルシステムズ(株) 空調機技術部

で示した部分の電圧を制御している。これにより差となる緑矢印で示した部分の電圧がリアクトル L1,L2 にかかり、入力電流を制御している。

この2組のチョッパ回路構成にて、電源電圧に歪みが無い場合の図2(a)では電源電圧(赤)が入力されると、コンバータは電源電圧の位相より適切にずらした正弦波(青)で動作させる。これによりリアクトルには位相がほぼ 90[deg]ずれた電圧(緑)がかかり、力率がほぼ1になる正弦波電流が流れる。(実際はダイオードにより整流されているので、正側に折り返した波形となる)

ところが、図2(b)のように電源電圧が歪むとリアクトルにかかる電圧が歪み、入力電流も歪んでしまう。入力電流が歪んだことにより余分な高調波電流が流れることで損失が増加し効率も悪化する。

そこで、電源電圧の歪みに対応した歪みをコンバータの波形に図2(c)のように重畳することで、リアクトルの電圧を正弦波にすることができるので、入力電流の歪みをなくすことができるようになる。

表1 輸出用ルームエアコン SRK シリーズ仕様概要

室内機		SRK63ZR-W	SRK71ZR-W	SRK80ZR-W		
室外機		SRC63ZR-W	SRC71ZR-W	SRC80ZR-W		
電源		単相, 220 - 240, 50Hz	単相, 220 - 240, 50Hz	単相, 220 - 240, 50Hz		
定格 冷房能力 (最小~最大)	kW	6.3 (1.2~7.4)	7.1 (2.3~7.8)	8.0 (2.3~9.7)		
定格 暖房能力 (最小~最大)	kW	7.1 (0.8~9.3)	8.0 (2.0~10.8)	9.0 (2.1~11.2)		
消費電力	冷房/暖房	kW	1.63/1.64	1.93/1.95	2.09/2.27	
成績係数	冷房/暖房		3.87/4.33	3.68/4.10	3.83/3.96	
最大消費電流		A	14.5	17	17	
外形寸法	室内機	高さ×幅×奥行	mm	339 x 1197 x 262	339 x 1197 x 262	339 x 1197 x 262
	室外機			640 x 800(+71) x 290	750 x 880(+88) x 340	750 x 880(+88) x 340
冷媒	型式/地球温暖化係数		R32/675	R32/675	R32/675	
冷媒	封入量	kg/TCO2Eq	1.25/0.844	1.5/1.013	1.6/1.080	
屋外使用温度範囲	冷房	°C	-15~46	-15~46	-15~46	
	暖房		-15~24	-15~24	-15~24	
クリーンフィルタ			バイオクリアフィルター x 1, 水洗い・サンフィルター x 1	バイオクリアフィルター x 1, 水洗い・サンフィルター x 1	バイオクリアフィルター x 1, 水洗い・サンフィルター x 1	
エネルギークラス (冷房/暖房)			A++/A++	A++/A+	A++/A+	

・以下の条件(ISO-T1, H1)で測定します。冷却:室内温度。27° CDB, 19° CWB 及び屋外温度。35° CDB 用。暖房:室内温度。20° CDB, 及び屋外温度。7° CDB, 6° CWB。
 ・“CO₂換算トン”とは、温室効果ガスの量を指す。

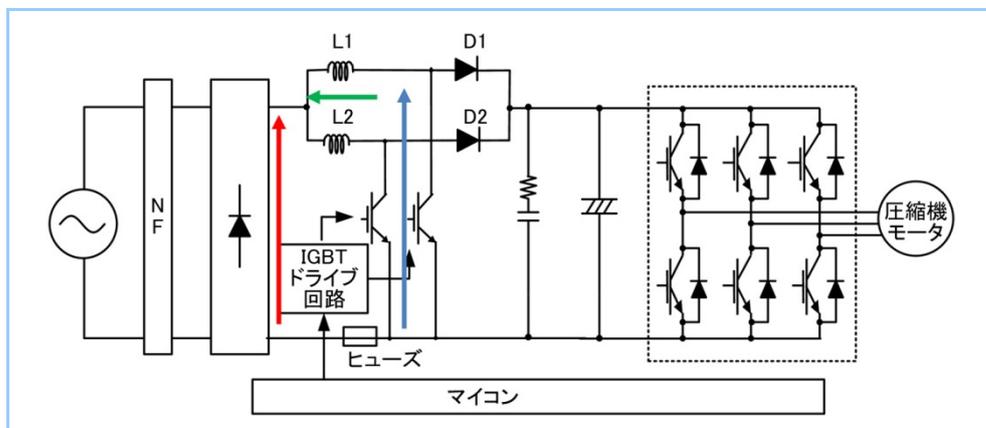


図1 主回路構成

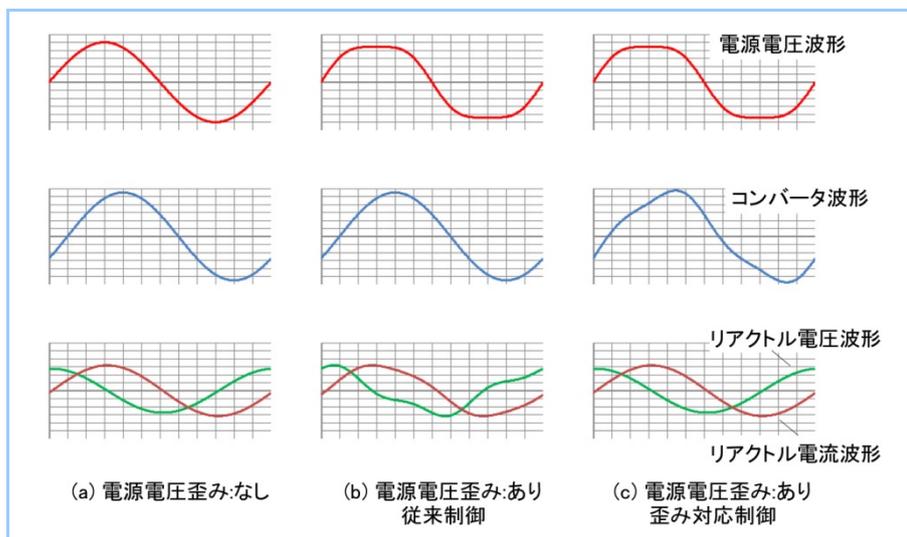


図2 電源電圧 歪み対応コンバータ

3. 電源電圧歪み対応

3.1 歪み対応コンバータ制御

電源電圧波形に歪みを想定していないコンバータ制御では、図2(a)のように電源電圧波形を正弦波としていたので、リアクトルの電圧降下により生じる位相のみがパラメータであった。

今回、電源電圧が歪んでいることに対応するため、コンバータの波形に高調波を歪みとして重畳し、このパラメータを調整することで入力電流の歪みを低減する開発を行った。

高調波を重畳した波形は図3の赤線のようにになる。基本波位相と3次、5次…の重畳量をパラメータとして次のように設定する。

- f1t: 基本波位相[deg](青点線)
- f3s, f3c: 3次 sin 成分(緑点線)振幅, 3次 cos 成分(紫点線)振幅[%]
- f5s, f5c: 5次 sin 成分振幅, 5次 cos 成分振幅[%]

歪みは、検出した入力電流から求めた実効値と基本波の関係により算出する。そして、この歪みを指標Jとしてこれらパラメータを変更して、歪みが最も小さくなる組合せへ調整する。

パラメータを最適な組合せに調整する方法は様々あるが、処理に時間がかからないことでCPUを変更する必要がなく、かつパラメータの収束が速くなるように山登り法を適用し、そのパラメータの調整順序として図4の方法を組み合わせた。

(a)の方法はパラメータのうち1つを元のパラメータ値(赤)から増減させて指標Jがよくなった方へ(青)変更し、そのパラメータ値を基準に次のパラメータのパラメータ値を変更していく、全てのパラメータを均一に変更して“優先なし”で調整する。

それに対して(b)の方法はパラメータのうち1つを元の値(赤)から変化させ続け、他のパラメータのパラメータ値が決まっている状態で最も指標Jがよくなる値(青)まで、パラメータのパラメータ値を変化させる。その上で、次の別のパラメータを同様に調整する。このとき、指標Jに与える影響が大きいものを優先的に調整する“優先あり”の方法である。

“優先なし”では、全てのパラメータを均一に調整していくため、歪みが大きい状態から歪みが低下していくスピードが遅い。一方、“優先あり”は影響の大きいパラメータを優先して調整するので、速く歪みを下げることができる。

しかし、ある程度歪みが小さくなると他のパラメータの間に相互干渉が生じるようになり、“優先あり”では調整の順番が回ってくるのが遅いパラメータが発生するため、下がり方が遅くなる。

そこで、最初は“優先あり”で一通りパラメータを調整した後は、“優先なし”で調整する。

これにより、電源電圧が歪んでいても速やかに入力電流の歪みを低下させることができる。

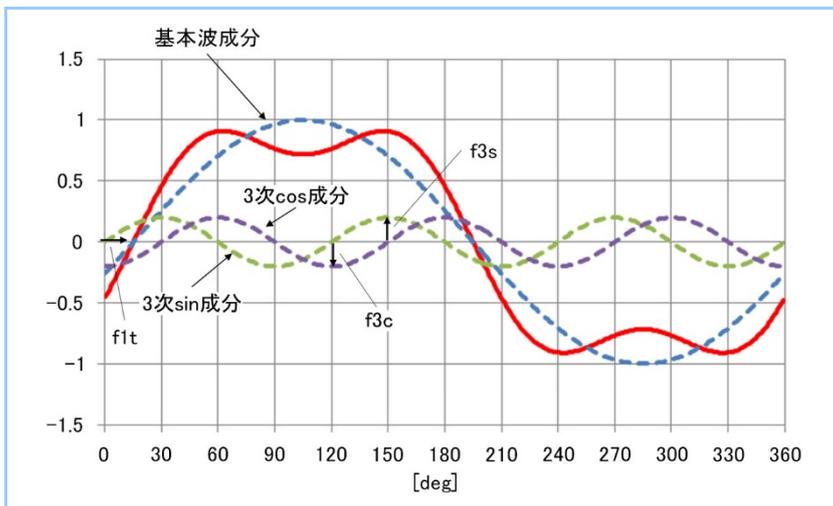


図3 コンバータ波形(高調波重畳)

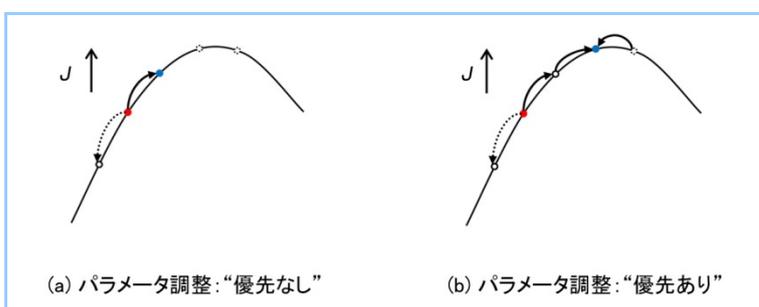


図4 パラメータの調整

3.2 解析と実測波形

歪み対応コンバータ制御による歪み率低減の効果について、シミュレーションした結果を図5に示す。電源電圧波形に3次歪みが 11[%]重畳しているため、歪み対応制御による調整開始前の(a)の入力電流波形には総合歪み率 THD (Total Harmonic Distortion) 28[%]となっていたが、調整後の(b)では、入力電流の歪みがほぼなくなり 3[%]まで歪み率が低下した。

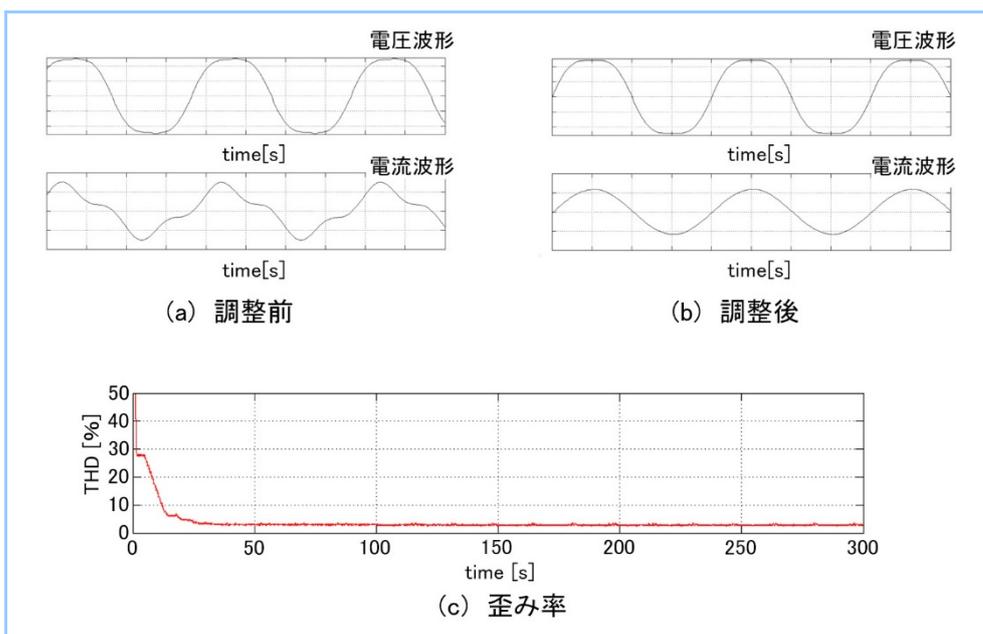


図5 シミュレーション波形

また、調整順序を組み合わせることで、調整後十数[s]で急速に歪み率が 10[%]以下に低下し、その後 30[s]程度で安定していることがわかる。

この歪み対応コンバータ制御をルームエアコンに適用し、電源電圧波形に3, 5次歪みをそれぞれ11[%]重畳したときの波形を図6に示す。

歪み対応コンバータ制御による調整を行っていないときは、(a),(c)のように入力電流が歪んで総合歪み率 THD が8及び29[%]あったが、調整を行うことで、(b),(d)のように歪みが小さくなり3及び6[%]と1/2 及び1/5 に歪み率が低下した。また、各高調波の次数成分も IEC の規格を満足した。

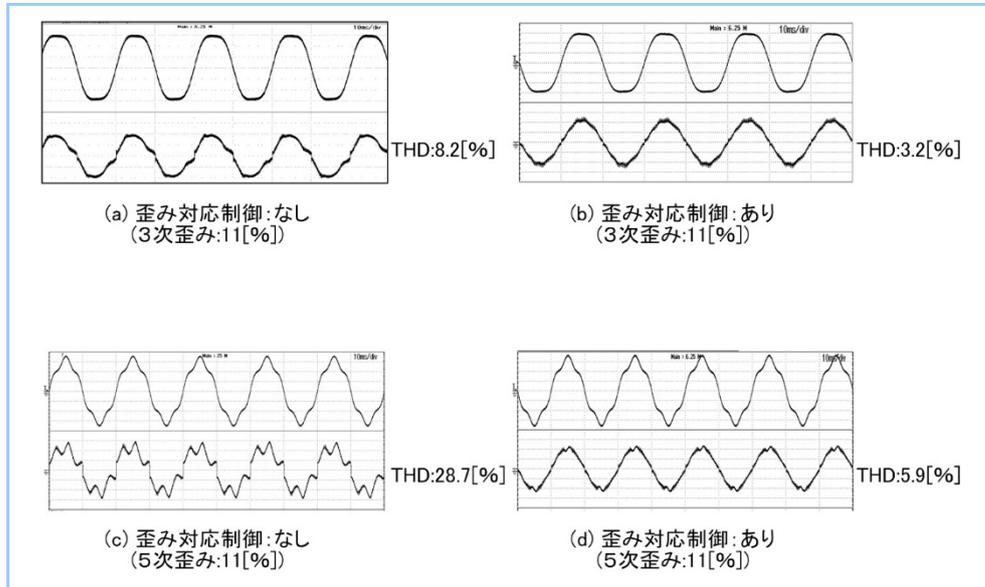


図6 実測波形

4. まとめ

ルームエアコンの省エネを図るには、高効率となるインバータを使用するが、インバータは入力電流に高調波電流を歪みとして系統に流出するので、従来それを低減する手法の一つとしてチョップ回路をスイッチングすることで、入力電流波形を正弦波状にする方法を採用してきたが、電源電圧波形に歪みがあると入力電流を正弦波状に制御できない課題がある。

そこで、本報では、組込み CPU でも実現可能な歪み対応コンバータ制御の開発とその成果について述べた。この制御を搭載することで、電源電圧が歪んでいても高調波電流を低減でき、高調波電流が減ることで余分な入力電流がなくなり高効率化も実現できる。

参考文献

- (1) 電流予測制御による大容量化対応空調機用アクティブフィルタ, 三菱重工技報, Vol.56 No.1 (2019)