

研究成果報告書

研 究 題 目		LCL フィルタを用いた系統連系インバータの制御に関する研究	実 施 年 度
			24 年度
代 表 研 究 者	所 属	宇部工業高等専門学校／電気工学科	
	氏 名	西 田 克 美 印	
1. 研究の目的・背景			
風力や太陽光発電等の分散電源から系統への逆潮流電力を制御するには、分散電源の出力電圧の大きさや位相を系統側のそれらと比較しながら高精度、高速に制御するパワーコンディショナーシステム（PCS）を設置しなければならない。PCSの最終段に設置される系統連系インバータと系統の間に設置すべきインターフェースフィルタの小型軽量化を実現するにはLCL タイプフィルタの採用が不可欠である。その際 LCL フィルタは 3 次系であるため逆潮流電流を高速かつ精度良く制御する 3 次元有限時間電流制御法の開発が前提となる。 本研究では、系統注入電流の制御のための有限時間整定制御則を導出し、さらに制御の安定性と応答の早さが両立できるという有用性を実験で検証している。以下が本研究の要点である。			
1). 有限時間整定制御則の導出： 系統と連系インバータ間のインターフェースフィルタとして図 1 に示す LCL フィルタを設置すると、状態変数は、各相のインバータ出力電流、フィルタキャパシタ電圧、系統への注入電流の $3 \times 3 = 9$ 変数となる。 そこで、静止 α - β 座標軸上の瞬時空間ベクトルを制御変数とすると、この 9 変数が 3 変数に集約され、有限時間整定制御則を実現する制御則が容易に導出できる。			
2). 検出する状態変数の低減： 三相量の独立変数は 2 で残りの 1 変数は計算で求められること（ $i_{1u} + i_{1v} + i_{1w} = 0, \therefore i_{1w} = -(i_{1u} + i_{1v})$ 等）を考慮しても、三つの状態変数すべてを検出しようとすると電圧と電流のセンサーが合計 6 個必要になる。 そこで 2 相分のインバータ出力電流もしくは、濾過後の 2 相分の系統への注入電流(=グリッド電流)だけを検出し、ほかの状態変数は推測で済ませる事により、所要センサー数を 2 個にまで低減する。 検出をしていない状態変数の推測式を導出した後、実験を行って、どちらの電流を検出した場合に制御性能が良くなるかを明らかにする。			
3). LCL フィルタ定数の測定方法の確立： 有限時間整定制御は本質的に比例制御であるため、LCL フィルタ定数の真値と制御システムで使用されている値の間に誤差があると、制御精度が低下したり、極端に誤差が大きい場合には状態の推測を行っていることもあって制御系が不安定になってしまう恐れがある。そこでラインインダクタンスを変化させた場合の制御応答を実験で確認し、提案制御則のロバスト性を検証する。			

図 1. 実験回路

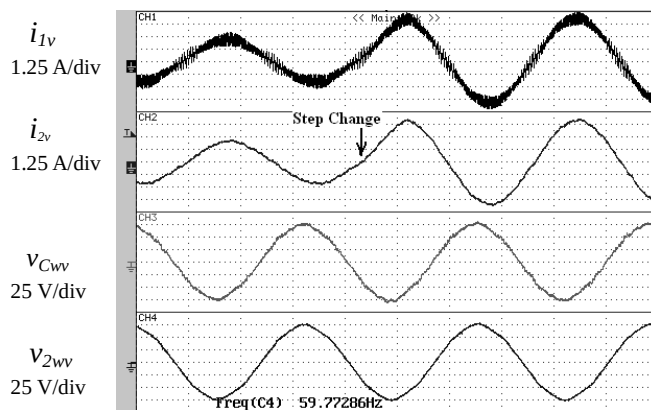


図 2. 逆潮流モードのステップ応答 (50%→100%)

3). 実験による検証(達成度 100%)

・提案制御法によれば、①スイッチングリップルの抑制、②最短時間制御、③LC共振の抑制のいずれもが、逆潮流モード、整流器モード、STATCOM モードの3通りの場合で達成された。

・インバータ電流フィードバックよりグリッド電流フィードバックの方がグリッド電流の THD を 2%以上低減できることがわかった。

4). ラインインダクタンスの変化に対する提案制御則のロバスト性検証 (達成度 100%)

・ラインインダクタンスが図 1 の L_2 と同じ値まで増えても、提案有限時間整定制御法は制御精度や安定性が減少しないことが実験で確認できた。これは制御系では外乱に相当するグリッド電圧が、ラインインダクタンスの誘導電圧も含めて制御器内で推測されている事による。

1). 有限時間整定
制御則と状態推定
式の導出(達成度
100%)

・瞬時空間ベクトルを状態変数とした LCL フィルタの回路方程式(=微分方程式)を記述した。

- ・ラプラス逆変換を用いて、サンプリング周期内では、インバータ出力電圧と系統電圧は一定

であるという仮定のもとで離散値系の差分方程式を導出した。

・有限時間整定制御則と状態推定式を導出した。

2). 制御則と状態推定式の DSP プログラム記述(達成度 100%)

- ・制御則と状態推定式は本来 α - β 静止座標軸上で記述されている。実際の制御は d-q 同期回転座標軸上で行うので修正する必要があった。

3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

費 目	使 途 説 明	金 額	
		計 画	実 績
設 備 備 品 費	オシロスコープ絶縁プローブ	200,000	155,400
消 耗 品 費	LCL フィルタ 1 式	120,000	103,720
印 刷 費	論文誌別刷り	100,000	0
旅 費	国内学会（パワーエレクトロニクス学会 3 回）	80,000	100,880
間 接 経 費	研究用電力料金	0	40,000
小 計		50 万円	40 万円

4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

- ・LCL フィルタは風力ばかりではなく太陽光の系統連系インバータやバッテリー充放電回路にも仕様されるので、提案制御法の適用範囲は広いものがある。
- ・フィルタインダクタ L_1 と L_2 は経年変化により減少する。しかし、この減少したインダクタの値を知るには単に、LC メータで行うことはできない。また商用電源により定格電流を流したとしても過渡時のより周波数が高い領域での L は求められない。今後、簡便かつ高精度のフィルタインダクタの測定方法や、さらにはインバータを運転しながらインダクタンスの自動測定と制御器定数の自動設定といったことが可能となれば提案制御法は非常に適用が容易な制御法となる。

5. 成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

①Katsumi Nishida, Tarek Ahmed, Mutsuo Nakaoka,

“Cost-effective Deadbeat Current Control for Wind-Energy Inverter Application with LCL Filter”, IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE2012), 査読有り, Sep., 2012, Raleigh Convention Center, Raleigh, North Carolina, USA

②Katsumi Nishida, Tarek Ahmed, Mutsuo Nakaoka,

“Deadbeat Current Control for Wind-Energy Inverter Application with LCL Filter”, IEEE International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS 2013), 査読有り, April, 2013, 北九州国際会議場 (**Best Paper Award受賞**)

③Katsumi Nishida, Tarek Ahmed, Mutsuo Nakaoka,

“A New Scheme of Full-power Converter for Variable-speed Wind Power Generation System”, IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE2013), 査読有り, Sep., 2013, Denver Convention Center, Denver, Colorado, USA, 発表予定

④Katsumi Nishida, Tarek Ahmed, Mutsuo Nakaoka,

“Cost-Effective Deadbeat Current Control for Wind-Energy Inverter Application with LCL Filter”, IEEE Transactions on Industry Applications, 論文投稿中