

再生可能エネルギーの普及拡大に 必要不可欠なインバータ 寿命診断技術

2023年12月5日(火)

九州工業大学 大学院工学研究院

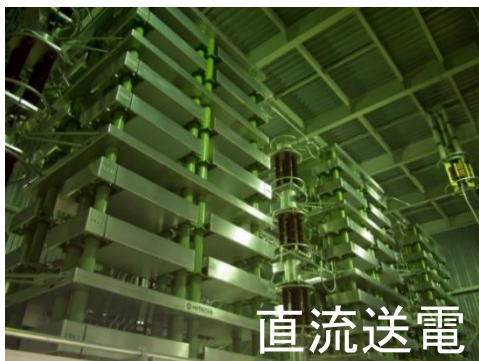
電気電子工学研究系

准教授 長谷川 一徳

低炭素化に資するインバータ応用



再生可能エネルギー



直流送電



無効電力補償

FACTS (Flexible AC Transmission System)

系統連系インバータ導入拡大

→ 信頼性向上が急務

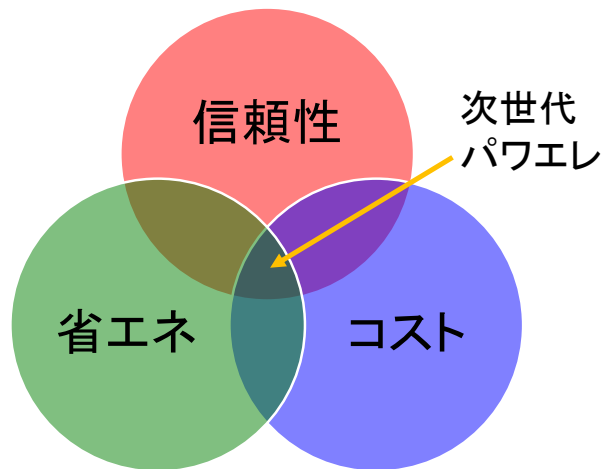


ギャップの一因: インバータ
実動作時の部品の信頼性
評価が困難

インバータの高信頼化に向けて

	キャパシタ	プリント基板	パワー半導体	ハンダ
故障要因に占める割合[1]	30%	26%	21%	13%
劣化サイクル	10年程度	20～30年	20～30年	20～30年
故障頻度 (半田を1として)	6	2.6	2	1

[1] E. Wolfgang, "Examples for failures in power electronics systems," ECPE Tutorial Reliability Power Electronic Systems, Apr. 2007.

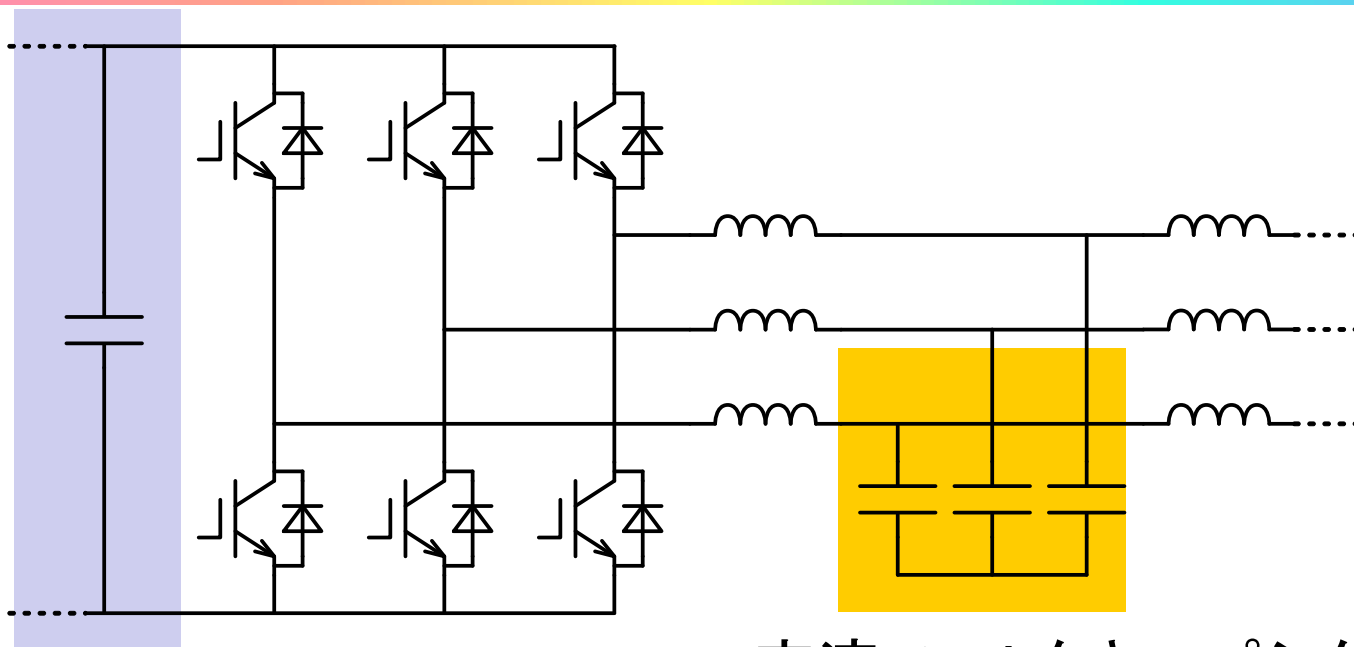


コンディションモニタリングによる
キャパシタ寿命診断が最重要課題

ただし、普及には導入コスト低減が必要

次世代パワエレの目指す領域

インバータ用キャパシタ



直流リンクキャパシタ

- 瞬時電力の差を吸収
- 直流電圧を一定に維持

➡ 提案者の先行技術にて
センサレス・モニタリングを実現

交流フィルタキャパシタ (LCLフィルタ)

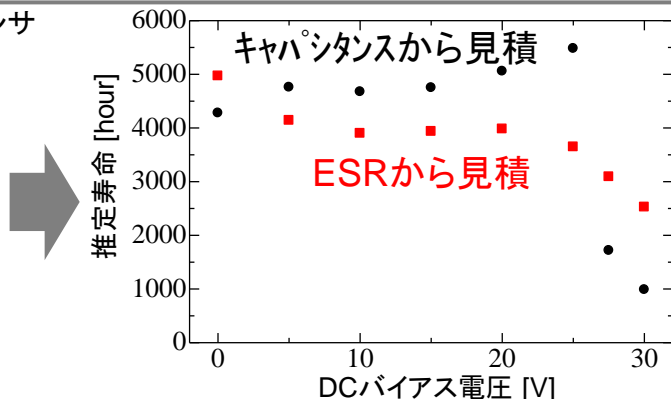
- SWリップル電流の吸収
- 系統連系インバータに使用

➡ **新技術によるセンサレス・
モニタリングの実現**

提案者の先行技術



オイルバス(85°C一定)
加速劣化試験

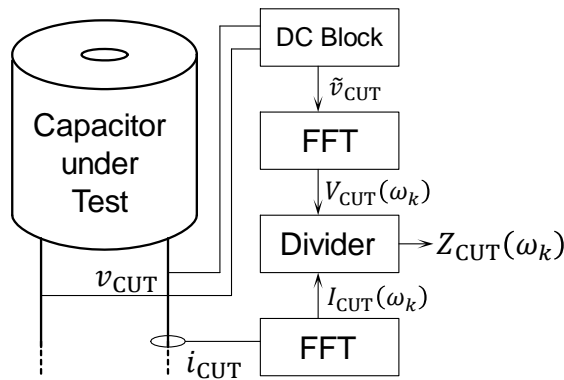


従来のESR測定だけでは、
故障を見逃す危険性がある！

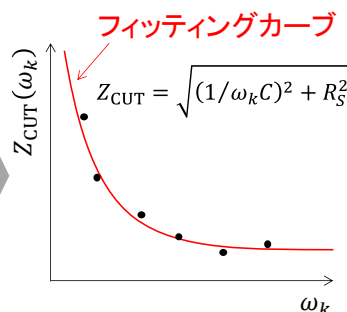


キャパシタンスのモニタリング
も同時に必要

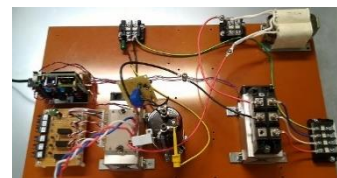
[1] K. Hasegawa, K. Tsuzaki, S. Nishizawa, "DC-bias-voltage dependence of degradation of aluminum electrolytic capacitors," *Microelectron. Rel.*, Mar. 2018.



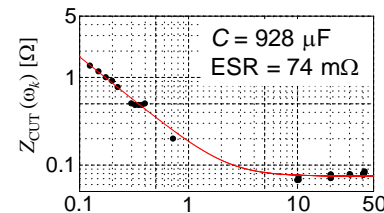
$Z_{CUT}(\omega_k)$ 抽出ブロック図



$Z_{CUT}(\omega_k)$ プロファイル



試作インバータ



実験結果

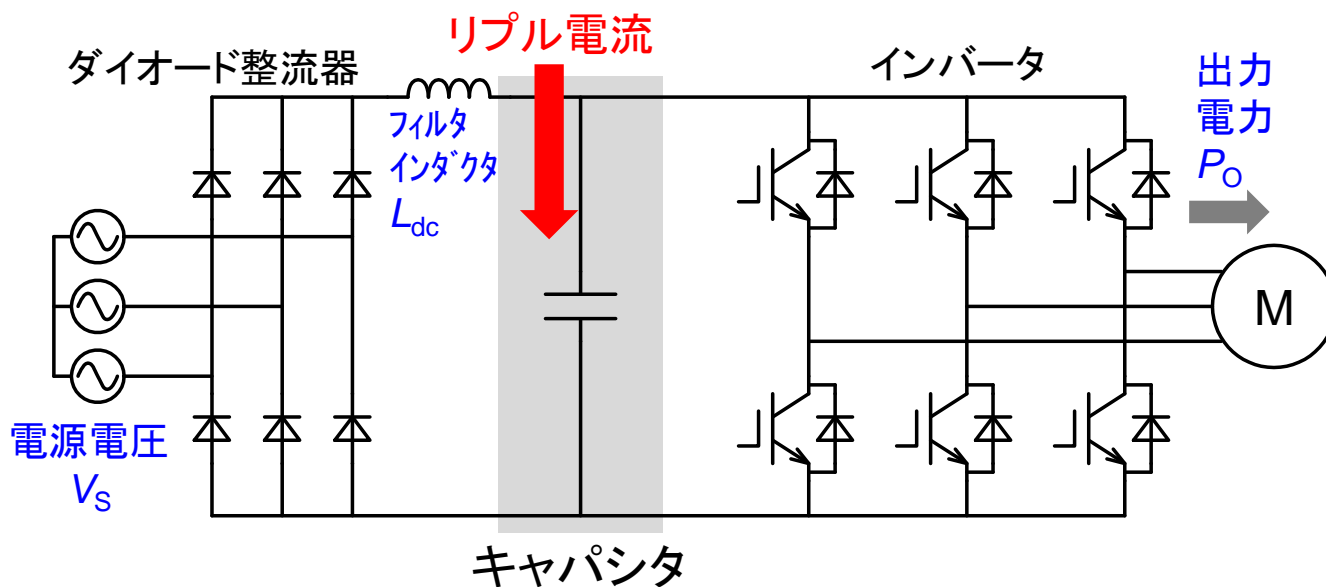
電流センサを使用して
ESR/キャパシタンスの
独立モニタリングに成功！

[2] K. Hasegawa, S. Nishizawa, and I. Omura, "ESR and capacitance monitoring of a dc-link capacitor used in a three-phase PWM inverter with a front-end diode rectifier," *Microelectron. Rel.*, Sep. 2018.

直流リンクコンデンサの 電流センサレス・モニタリング

従来: モニタリング技術は高価なセンサありきで構築→普及の障害

➡ 本提案: **センサレス・低コスト**モニタリング

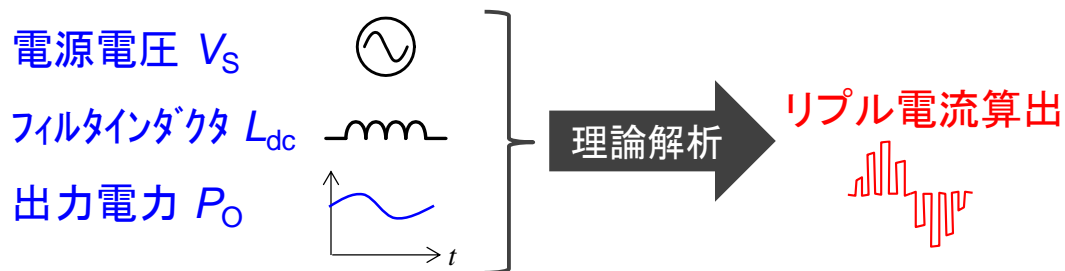


特長

複雑な配線構造の
改造が不要

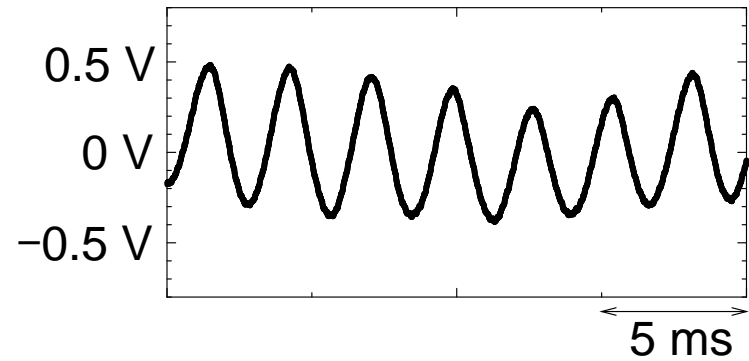


- ・配線の再設計不要
- ・既設インバータにも導入可能

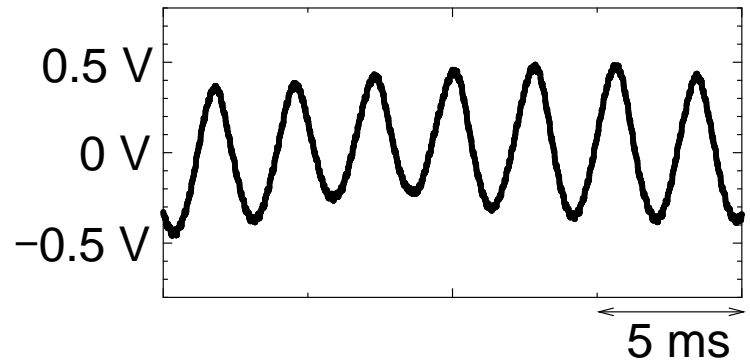


特願2020-186497, キャパシタ寿命診断装置及びキャパシタ寿命診断方法, 長谷川一徳, 出願日: 2020年11月9日

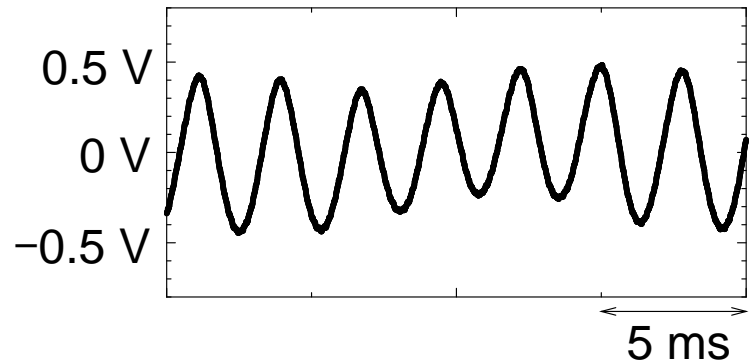
直流リンクコンデンサ モニタリング実験結果



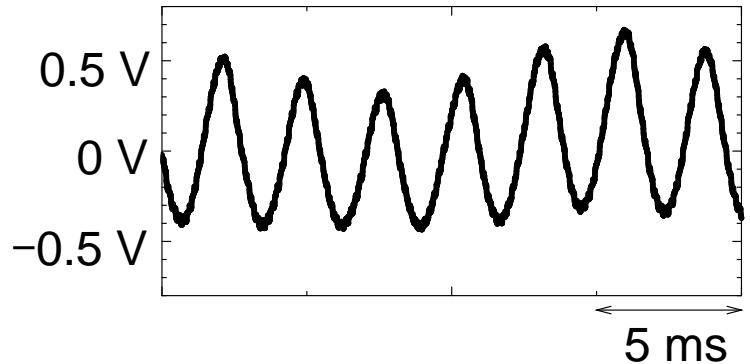
Condition A
 $ESR = 156 \text{ m}\Omega$, $C = 1167 \text{ }\mu\text{F}$



Condition B: **ESR Increase**
 $ESR = 219 \text{ m}\Omega$, $C = 1167 \text{ }\mu\text{F}$



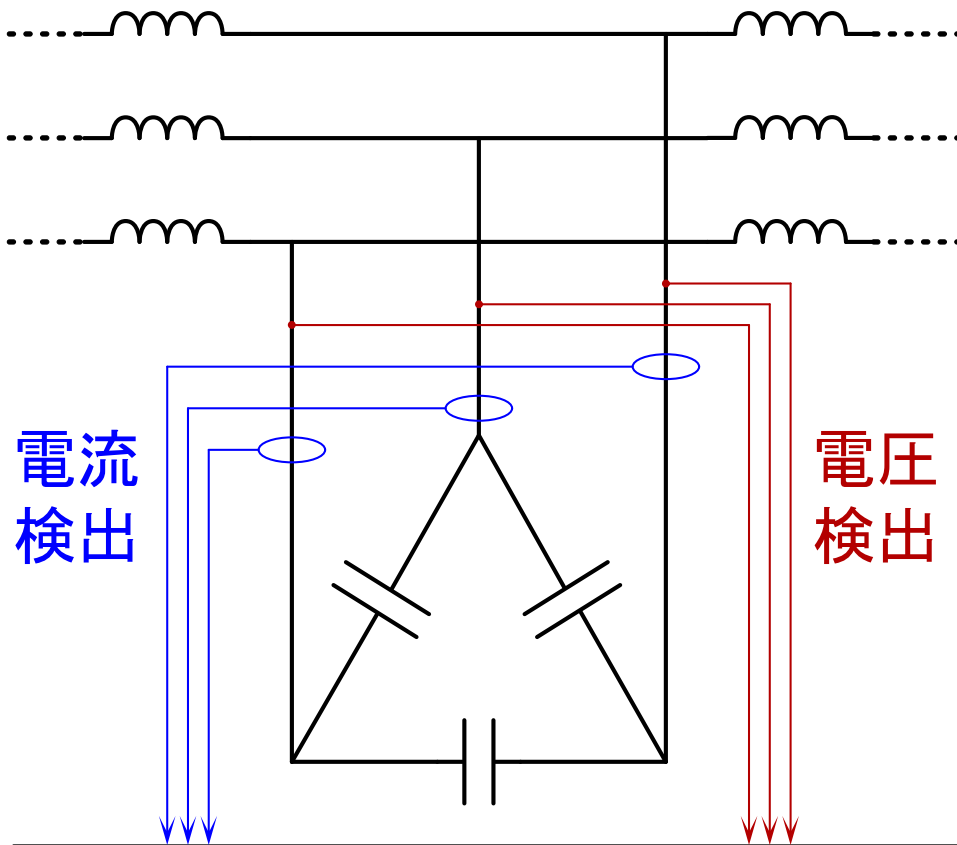
Condition C: **C Decrease**
 $ESR = 147 \text{ m}\Omega$, $C = 1046 \text{ }\mu\text{F}$



Condition D: **ESR Increase** • **C Decrease**
 $ESR = 270 \text{ m}\Omega$, $C = 1037 \text{ }\mu\text{F}$

K. Hasegawa, T. Kubo, Y. Hirose, "Condition Monitoring of a DC-Link Capacitor Used in a PWM Inverter with a Six-Pulse Diode Rectifier without Current Sensors, *IEEJ Journal of Industry Applications*, vol. 12, no. 3, pp. 548-554, May 2023.

LCLフィルタモニタリング 従来技術とその問題点

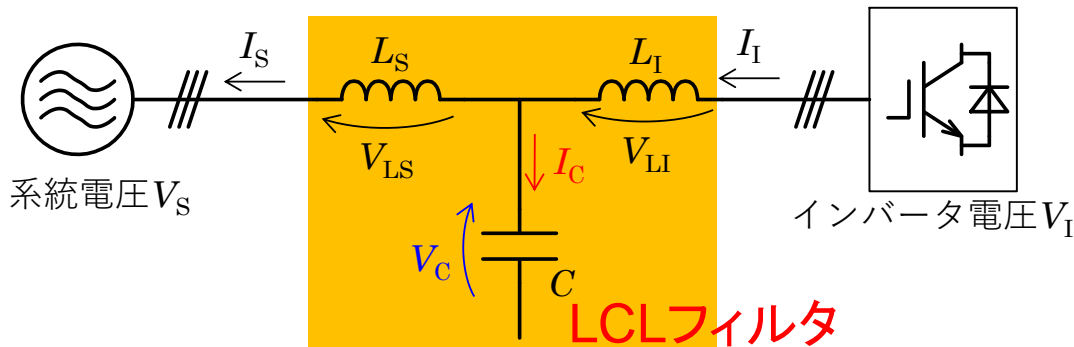


- 電圧/電流検出用のセンサ部品が必要
- キャパシタンスのみの算出

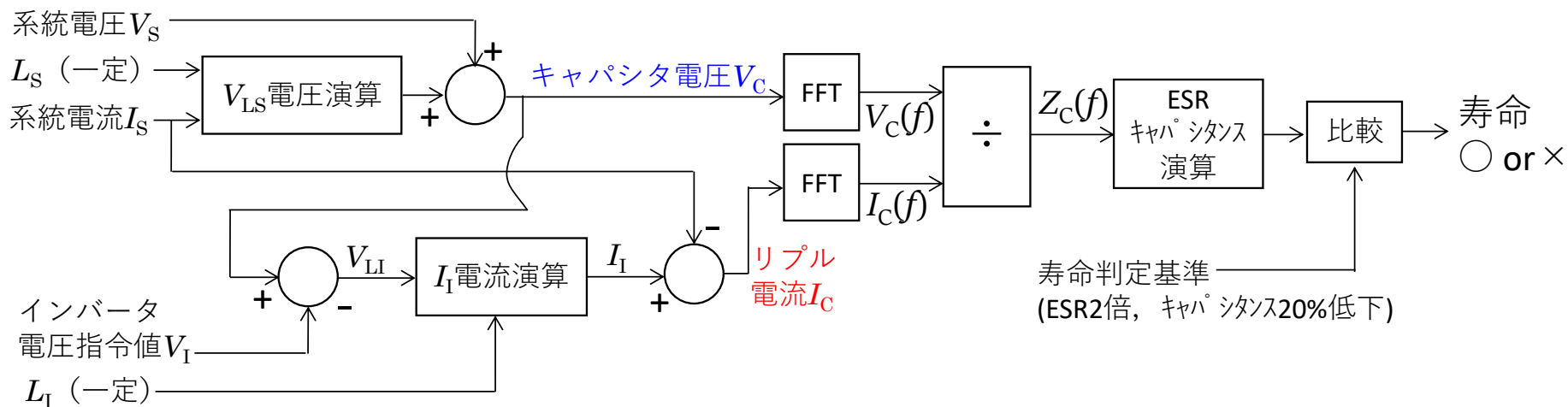
キャパシタンス算出による劣化検出

9,389.263 B2 Filter capacitor degradation identification using measured and expected voltage

新技術



特願2021-015829, LCLフィルタ寿命診断装置及びLCLフィルタ寿命診断方法, 長谷川一徳, 出願日: 2021年2月3日



- 波形解析からセンサレスで実現
- ESR/キャパシタンスのモニタリング

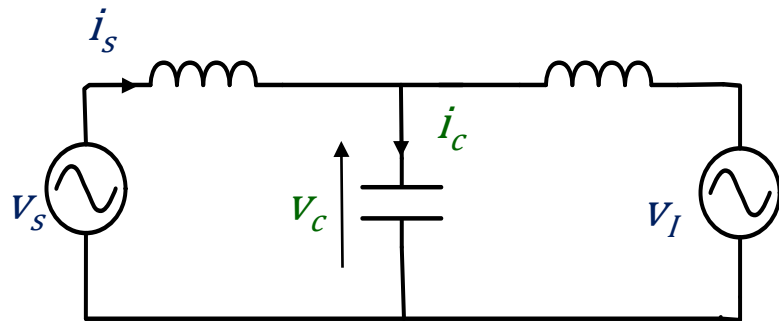


低コストで信頼性の高い
インバータの普及拡大

新技術の実装例

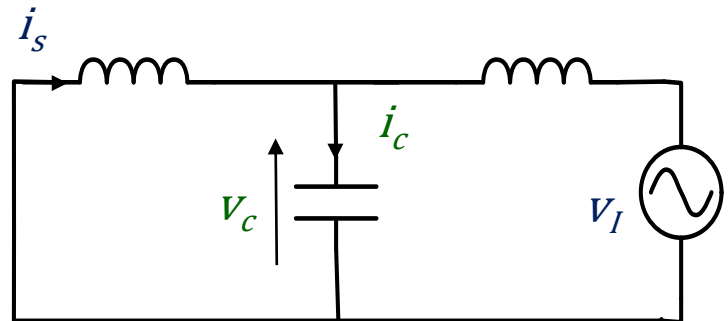
キャパシタ電圧、電流 $V_C(\omega_k)$, $I_C(\omega_k)$ が複数周波数成分

基本波周波数(60 Hz)



基本周波数における等価回路

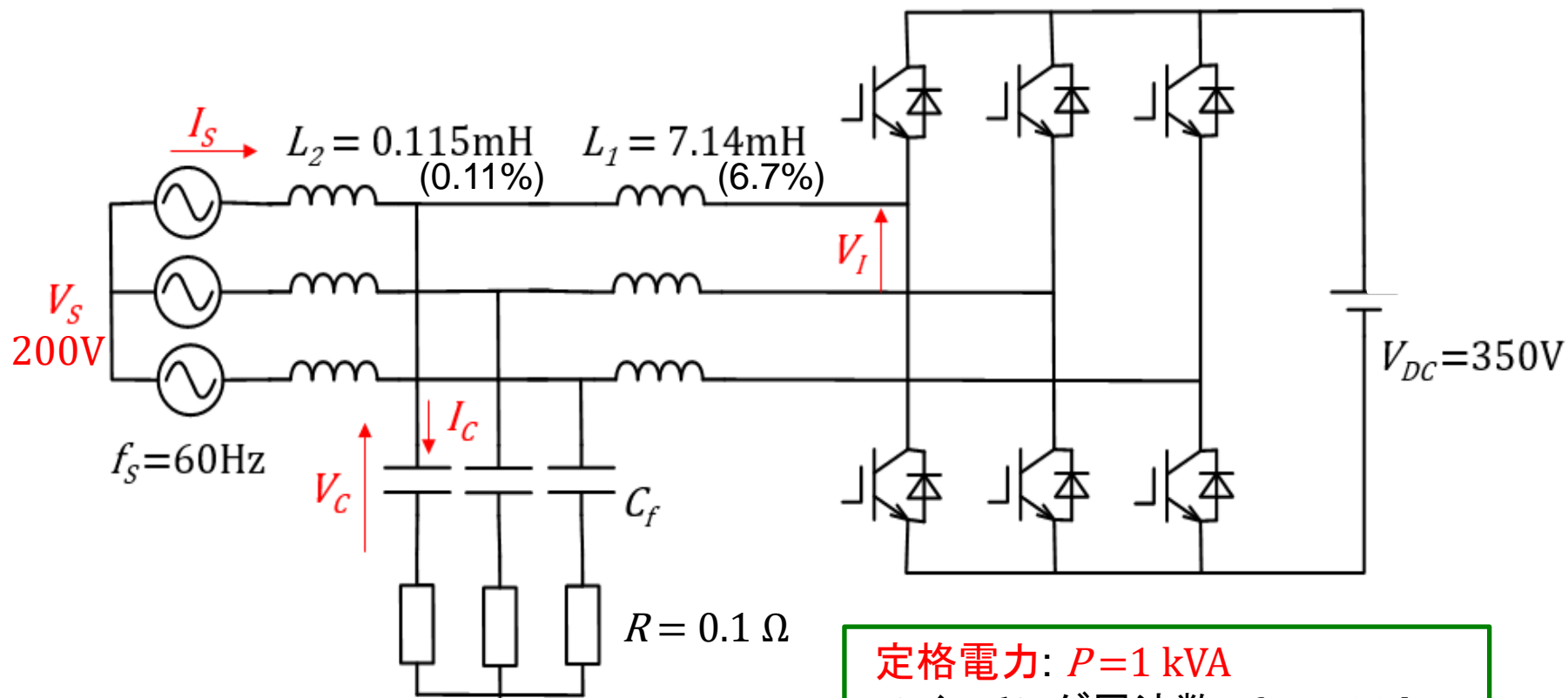
スイッチング周波数(20 kHz)



スイッチング周波数における等価回路

2周波数成分を利用したESR/キャパシタンス抽出

回路シミュレーションによる検討

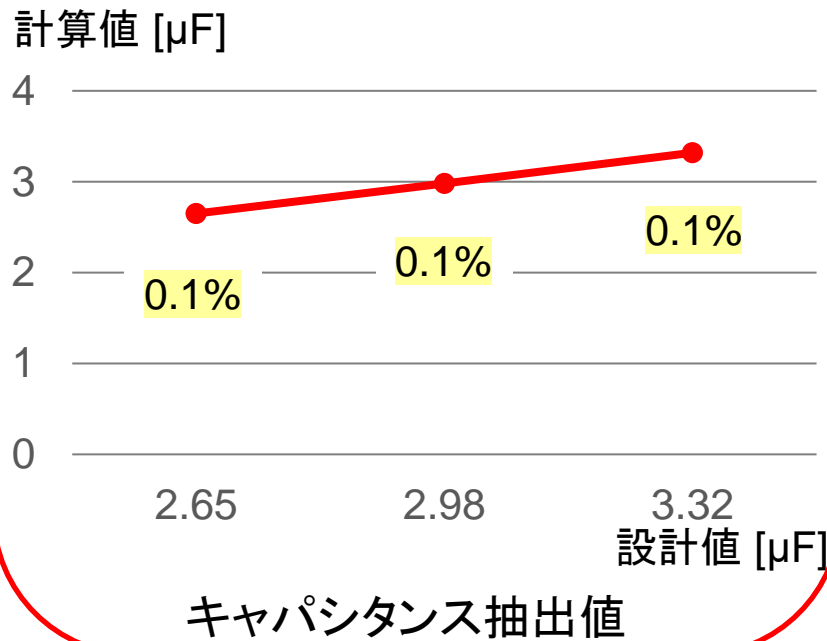


定格電力: $P = 1 \text{ kVA}$
スイッチング周波数: $f_{SW} = 20 \text{ kHz}$
共振周波数: $f_{res} = 1 \text{ kHz}$
変調率: $M = 0.935$
位相角: $\varphi = 3.914 \text{ deg}$

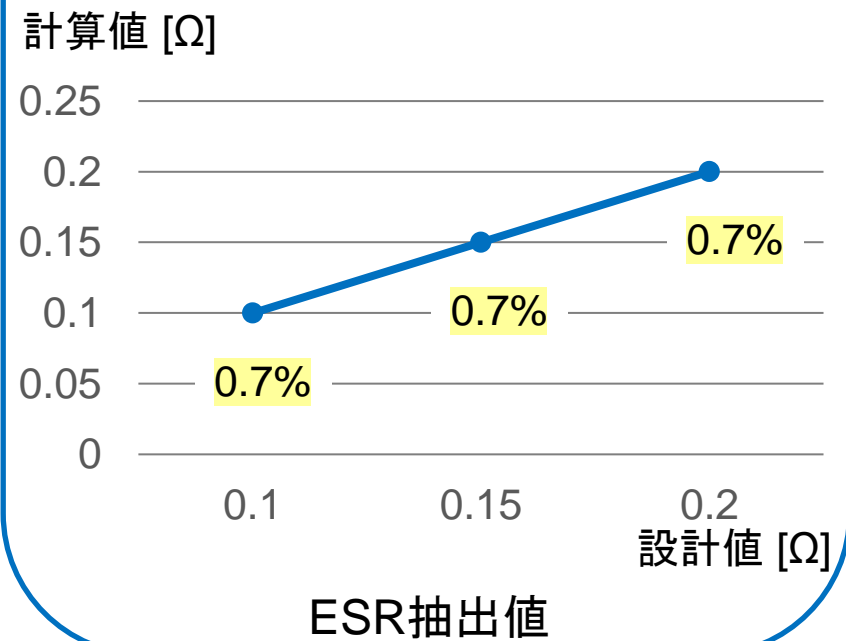
シミュレーション設計値と提案法の比較

●キャパシタンスとESRの独立した比較

- ・ ESR値一定 (0.1Ω)
- ・ キャパシタンス値10%毎低下 ($3.32\mu\text{F}$, $2.98\mu\text{F}$, $2.65\mu\text{F}$)



- ・ キャパシタンス値一定 ($3.32\mu\text{F}$)
- ・ ESR値50%毎増加 (0.1Ω , 0.15Ω , 0.2Ω)



➡ 誤差は良く一致している

新技術の特長・従来技術との比較

	従来技術	新技術
ESR測定	No	Yes
キャパシタンス測定	Yes	Yes
電圧センサ	必要	不要
電流センサ	必要	不要

[従来技術] 9,389.263 B2 Filter capacitor degradation identification using measured and expected voltage

想定される用途



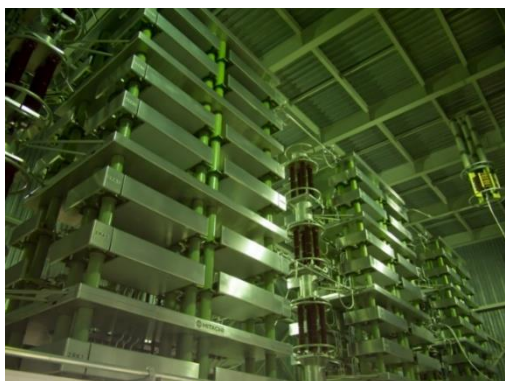
風力発電



メガソーラー



家庭用太陽光
パワーコンディショナ



直流送電/周波数変換



無効電力補償



交流饋電車両駆動

鉄鋼圧延主機ドライブ etc

実用化に向けた課題

- 電圧検出の高精度化
 - 繰り返し測定による平均化処理
- FFT演算等の低コスト化
 - キャパシタ劣化スピードは遅く、データ演算時間は必要としない点を利用
 - クラウドを活用

企業への期待

- 新設・既設インバータへ適用可能
 - インバータ高信頼化
 - インフラ用など停止できないインバータにも利用可能
- 信頼性向上 & 低コスト化の両立
 - 寿命診断技術の普及拡大

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : LCLフィルタ寿命診断装置
及びLCLフィルタ寿命診断方法
- 出願番号 : 特願2021-015829
- 出願人 : 九州工業大学
- 発明者 : 長谷川 一徳

産学連携の経歴

2016~2019年度	A社との受託研究実施
2019年度	B社との受託研究実施
2020~2021年度	C社団法人との共同研究実施
2021~2023年度	NEDO 官民による若手研究者発掘支援事業 に採択(代表)
2021~2026年度	文部科学省 令和3年度革新的パワーエレクト ロニクス創出基盤技術研究開発事業に採択 (日本ケミコン社ほか)(分担)
2023年度~	D社との共同研究実施中

そのほか、学術コンサルティングによる指導実績: 5件

お問い合わせ先

九州工業大学
先端研究・社会連携本部
産学イノベーションセンター
知財コーディネーター 尾崎 正

TEL: 093-884-3499

FAX: 093-884-3531

E-mail: chizai@jimu.kyutech.ac.jp