

系統連系型太陽光発電を統合した走行中ワイヤレス給電システム における可変 DC バス電圧基準制御

学生員 宮田 倫暉 正 員 居村 岳広 フェロー 堀 洋一（東京理科大学）

Variable DC Bus Voltage Reference Control in a Dynamic Wireless Power Transfer System Integrating Grid-connected Photovoltaic Power Generation

Tomoki Miyata, Takehiro Imura, Yoichi Hori, (Tokyo University of Science)

This paper proposes a grid-connected photovoltaic (PV) and Dynamic Wireless Power Transfer (DWPT) system with a variable DC bus voltage. A large-capacity capacitor is connected to the DC bus to absorb power fluctuations caused by PV generation and DWPT load variations. The DC bus voltage is used as an indicator of the power balance between PV generation and DWPT demand, cooperative control of a Dual Active Bridge (DAB) converter and an inverter are performed. Surplus PV power is utilized for EV charging by increasing DWPT transmission power.

MATLAB/Simulink simulations verified the proposed system. Results confirmed stable operation of the variable DC bus control and bidirectional power flow control of the DAB converter. DWPT transmission power increased from 21 kW to 32 kW under surplus PV generation, demonstrating effective utilization of surplus PV energy for EV charging. These results indicate that the proposed system can mitigate grid power fluctuations and reduce grid dependence.

キーワード： 走行中ワイヤレス給電, 太陽光発電, 電力系統, DAB コンバータ, 可変 DC バス, 電気二重層キャパシタ

Keywords : dynamic wireless power transfer, photovoltaic, grid, Dual Active Bridge converter, variable DC bus, EDLC

1. 序論

電気自動車(Electric Vehicle : EV)は、走行時に CO₂ を排出しない一方で、航続距離の短さや充電時間の長さ、給電設備の不足といった課題を抱えている。これらの課題を解決する技術として、走行中ワイヤレス給電(Dynamic Wireless Power Transfer : DWPT)の研究が活発に進められている⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾。DWPT は、走行中の EV へ電力を供給することで、EV 普及の妨げとなる課題の解決が期待される技術である。一方で、DWPT の普及に伴う電力需要の増加は電力系統への負荷増大を招く可能性がある。そのため、DWPT システムの電源として再生可能エネルギーである太陽光発電(Photovoltaic : PV)を導入することで、系統への依存度を低減し、さらなる脱炭素化が期待される。

このような背景から、PV と DWPT を組み合わせたシステムに関する研究が数多く報告されている⁽⁵⁾⁻⁽⁹⁾。文献⁽⁵⁾⁻⁽⁶⁾では、PV のみを電源とする独立型 PV+DWPT システムが提案されている。一方で、文献⁽⁷⁾⁻⁽⁹⁾では系統連系型 PV+DWPT システムが提案されている。特に、文献⁽⁸⁾⁽⁹⁾で

は、Dual Active Bridge (DAB) コンバータを導入し、DC バス電圧を一定に制御することで、安定した PV+DWPT システムを実現している。しかしながら、DAB コンバータにより DC バス電圧を一定制御するシステムでは、PV の余剰発電に伴う逆潮流や、DWPT の電力伝送に起因する電力変動を電力系統側で吸収する必要がある。そのような電力系統への影響を低減するために、本論文では、PV および DAB コンバータが接続される DC バス部に大容量キャパシタである電気二重層キャパシタ(Electric Double Layer Capacitor : EDLC)を接続し、DC バス電圧の変動を一定範囲内で許容する PV+DWPT システムを提案する。

提案システムでは、この可変 DC バス電圧を基準として、INV 部の位相シフト制御および DAB コンバータ部の電流制御を協調的に行う。本制御の特徴は、PV 余剰電力により DC バス電圧が上昇した際に、系統へ逆潮流させる前に DWPT の送電電力を増加させ、余剰電力を EV 給電へ優先的に利用する点にある。

一方、文献⁽⁸⁾⁽⁹⁾の従来システムでは PV 出力および DWPT 負荷に起因する電力変動を主に電力系統側で吸収する必要

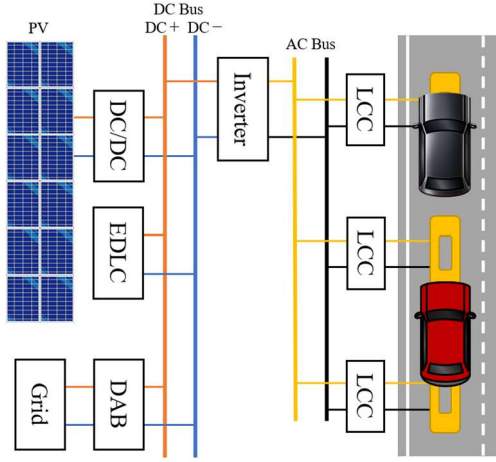


Fig. 1 Overview of the PV+DWPT System

があった。これに対し、提案システムでは EDLC をエネルギーバッファとして導入することで、これらの変動の一部をシステム内で吸収できる。その結果、電力系統との電力授受変動を緩和し、電力系統が担うエネルギーバッファの役割を軽減できる可能性を有する。

Fig.1 に提案システムの全体像を示す。提案システムによる PV 余剰電力の有効利用および電力系統との電力授受制御の有効性を、MATLAB/Simulink によるシミュレーションを用いて検証する。第 II 節では、提案システムの回路構成および制御手法について述べる。第 III 節では、シミュレーション結果および考察を示し、最後に第 IV 節で結論を述べる。

2. 提案システム

〈2・1〉 システム構成 Fig.1 に示すシステムでは、道路側の PV パネル、電源システムおよび送電コイルが電力変換器を介して共通の DC バスに接続されている。さらに、本論文では共通の DC バス部に EDLC を接続することで、急激な電力変動を吸収し、DC バス電圧の変動を一定範囲内で許容する。この可変 DC バス電圧を利用した制御手法については次節で述べる。そして、EV 側の受電コイルが、道路側の送電コイル上を通過したときに、磁界結合によって EV バッテリーの充電を行う。

Fig.2 に提案システム全体の回路図を示す。本システムは文献⁽⁸⁾の構成に準拠しており、本システムの概要を以下に示す。道路沿いに設置された PV パネルは、10 kHz でスイッチング動作する DC/DC ブーストコンバータによって MPPT 制御され、常に最大電力を供給する。本来は、電力不足時の補助電源および PV 余剰電力の受け入れ先として電力系統が接続されるが、本論文では交流系統および AC/DC コンバータを直流系統として簡略化する。直流系統と DC バスの間には、50 kHz の方形波で駆動される DAB コンバータが接続されている。さらに、後段の DC/AC インバータはスイッチング周波数 85 kHz で動作させている。WPT 部にはジャイレータ特性を有する LCL フィルタを用いた Double-LCC 回路⁽¹¹⁾を用い、道路側の送電コイルから車両側の受電コイルへと電力を伝送する。なお、EV 側の DC/DC ブーストコンバータおよびバッテリーについては、定電圧源として簡略化を行っている。提案システムは文献⁽⁸⁾と同一の DWPT 回路および DAB コンバータ構成を採用しているため、それらの動作原理の詳細については文献⁽⁸⁾を参照されたい。

〈2・2〉 EDLC 提案システムでは DC バス電圧の変動を許容するため、PV 出力および DWPT 負荷の変動によって生じる急激な電力変動を吸収する必要がある。そこで、本論文では文献⁽⁶⁾⁽¹¹⁾を参考に、Fig.2 に示すように DC バス部へ大容量キャパシタである EDLC を接続する。EDLC を導入することで、従来システムでは主に電力系統が担っていたバッファ機能の一部をシステム内で実現し、電力系統との電力授受変動を緩和することができる。

EDLC を採用した理由は、DWPT システムでは車両通過に伴う急激な負荷変動に対応するため、短時間での充放電応答が求められるためである。また、インフラ設備として長期間運用されることから高いサイクル寿命も要求される。EDLC は高い入出力特性を有し、充放電による劣化が小さく、数十万～数百万回の充放電サイクルに耐えられる特徴を有する。

なお、シミュレーションの簡略化のため、本論文では EDLC を理想キャパシタとしてモデル化する。

〈2・3〉 可変 DC バスによる電圧基準制御 可変 DC バスによる電圧基準制御のイメージ図を Fig. 3 に示す。Fig.

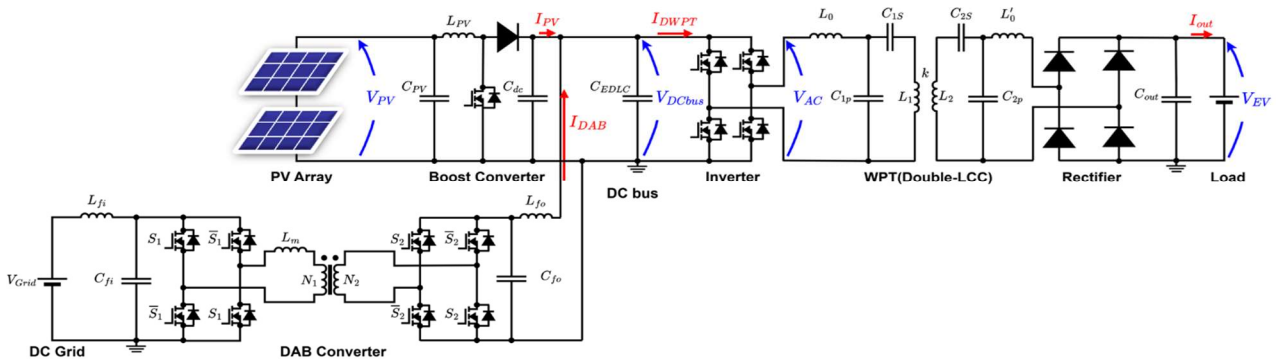


Fig. 2 Proposal System Circuit Diagram

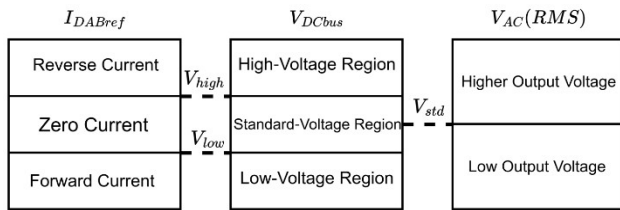


Fig. 3 Schematic Diagram of Variable DC bus Voltage Reference Control

3 において、 V_{low} は低電圧領域と標準電圧領域のしきい値、 V_{high} は標準電圧領域と高電圧領域のしきい値を表す。また、 V_{std} は DWPT の送電電力を切り替えるためのしきい値を表す。なお、各しきい値付近ではチャタリングを防止するためヒステリシス幅を設けている。

提案システムでは、DC バス電圧を PV 発電量と DWPT 負荷の需給バランスを反映する指標として利用する。標準電圧領域では、PV 発電量と DWPT 負荷が均衡している状態であり、DAB コンバータによる順潮流および逆潮流は行われない。そのため、電力系統との電力授受を抑制できる。

一方、高電圧領域では PV 発電量が負荷を上回り、余剰電力が発生している状態である。このとき INV 部は DWPT の送電電力を増加させ、余剰電力を EV 給電へ優先的に利用する。この状態から、さらに DC バス電圧が上昇した場合には、DAB コンバータによって電力系統へ逆潮流を行い、DC バス電圧を許容範囲内に維持する。

また、低電圧領域では、PV 発電量が不足している状態であるため、DAB コンバータによって電力系統から不足分の電力を供給し、DC バス電圧を標準電圧領域へ戻すように制御する。

〈2・4〉 DAB コンバータ部の電流制御 Fig. 3 に示した DC バス電圧に基づいて決定される電流指令値 I_{DABref} を実現し、DC バス電圧を許容範囲内に維持するために、DAB コンバータでは位相シフト制御を用いる。本論文では文献⁽¹²⁾を参考に、Fig. 4 に DAB コンバータの制御ブロック図を示す。

まず、電流指令値 I_{DABref} と実測電流 I_{DAB} との差に対してPI制御を行い、フィードバック成分 I_{fb} を得る。一方、電流指令値 I_{DABref} からフィードフォワード成分 I_{ff} を生成する。次に、 I_{fb} と I_{ff} を加算することで指令値 $I_{DA\ cmd}$ を生成する。その後、 I_{DABcmd} に基づいて位相角 φ を算出し、DABコンバータの位相シフトを行うことで、双方向の電力調整を実現する。

位相角 φ は(1)式で与えられる。なお、直流系統から DC バスに送られる向きを $I_{DA \text{ cmd}}$ の正方向と定義する。また、 $\varphi > 0$ のとき直流系統から DC バスへ電力が供給される順潮流状態であり、 $\varphi < 0$ のとき DC バスから直流系統へ電力が供給される逆潮流状態となる。これにより、DC バス電圧の状態に応じて順潮流および逆潮流を切り替えながら、電力系統との電力授受を制御することができる。

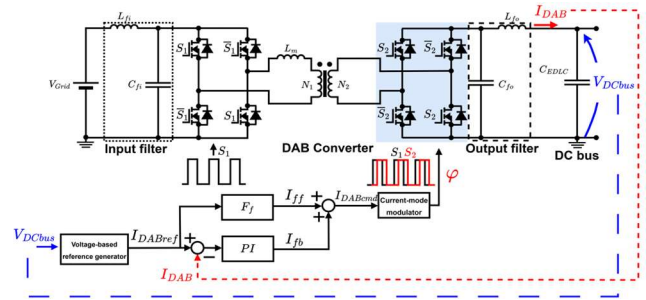


Fig. 4 Block diagram of DAB Converter Control

$$\varphi \begin{cases} \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{2} \sqrt{1 - \left(\frac{8f_{DAB} L_m I_{DAB}^{cnd}}{n_t V_{grid}} \right)} & (I_{DAB}^{cnd} > 0) \\ -\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2} \sqrt{1 - \left(\frac{8f_{DAB} L_m I_{DAB}^{cnd}}{n_t V_{grid}} \right)} & (I_{DAB}^{cnd} < 0) \end{cases} \quad (1)$$

〈2・5〉 INV 部での位相シフト制御 LCC 回路はバンドパスフィルタ特性を持つため、インバータの出力電圧の基本波成分の実効値 $V_{AC}(RMS)$ は (2) 式で表される。(2) 式を位相シフト角 α について整理すると、(3) 式が得られる。

提案システムでは、Fig. 3 に示した DC バス電圧に応じて所望の出力電圧 $V_{Ac}(RMS)$ を設定し、Fig. 5 に示す INV 部の位相シフト制御により、(3)式から得られる位相シフト角 α に基づいて、その出力電圧を実現する。

$$V_{AC}(RMS) = \frac{2\sqrt{2}V_{DC\ bus}}{\pi} \cos \frac{\alpha}{2} \dots\dots\dots(2)$$

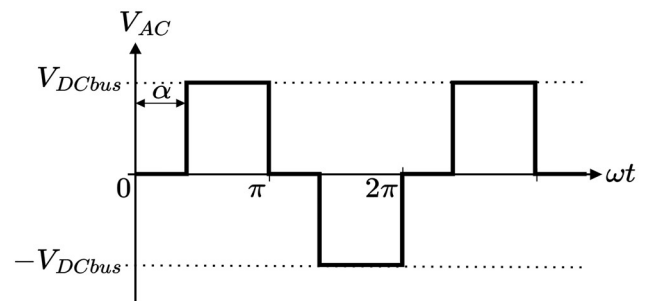


Fig. 5 Inverter Phase Shift Control

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{\pi}{2\sqrt{2}V_{DCbus}} V_{AC}(RMS) \right) \dots\dots\dots (3)$$

3. シミュレーション結果

〈3・1〉 シミュレーション内容 提案システムのシミュレーションを Fig. 2 の回路図を基に MATLAB/Simulink を用いて行う。本シミュレーションでは、2.3～3.5 秒の間に 14 台と、9～10 秒の間に 11 台の車両が、敷設率 50 % の送電コイルの上を時速 100 km で走行する条件を設定し、結合係数を変化させることで DWPT 負荷変動を再現する。

本検討では、まず提案システムにおける大容量キャパシタの必要性を確認するため、DC バス容量の異なる条件で比較を行う。次に、DWPT 負荷変動および PV 発電電力変動によって DC バス電圧が変化する場合下において、提案した可変 DC バス制御の有効性を確認する。また、PV 余剰

Table. 1 Parameters in Fig. 3

Symbol	Value
I_F , I_0 , I_R	20 A, 0 A, -20 A
V_{high} , V_{std} , V_{low}	620 V, 600 V, 590 V
V_{HO} , V_{LO}	500 V, 350 V
V_{HW}	10 V

Table. 2 Parameters for each section

Parameter		Value
PV Section	f_{PV}	10 kHz
	Δd	0.01
	duty sample	0.01
	L_{PV}	0.1 mH
	C_{PV}	500 μ F
	C_{dc}	100 μ F
DAB Converter Section	f_{DAB}	50 kHz
	V_{Grid}	2400 V
	n_t	4
	L_m	50 μ H
DC bus Section	C_{EDLC}	2.5 F
DWPT Section	f_{INV}	85 kHz
	L_0 , L'_0	20 μ H, 16 μ H
	C_{1p} , C_{2p}	175 nF, 219 nF
	C_{1s} , C_{2s}	51 nF, 58 nF
	L_1 , L_2	93 μ H, 76 μ H

電力を EV 給電へ優先的に利用できるかを確認するとともに、DAB コンバータによる電流制御および INV 部による送電電力制御が適切に動作することを検証する。

Table. 1 に Fig. 3 で用いる制御パラメータを示す。 I_F 、 I_0 、 I_R はそれぞれ順潮流、順潮流逆潮流なし、逆潮流を表す。また、 V_{high} 、 V_{std} 、 V_{low} はそれぞれ高電圧しきい値、標準電圧しきい値、低電圧しきい値を表す。 V_{HO} 、 V_{LO} はそれぞれ高出力電圧、低出力電圧を示し、 V_{HW} はヒステリシス幅を表す。

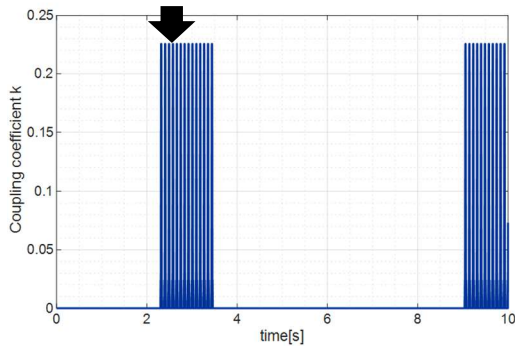
(a) Coupling coefficient k

Table. 2 に PV 部、DAB コンバータ部、DC バス部、DAPT 部のパラメータを示す。PV 部の f_{PV} は DC/DC コンバータのスイッチング周波数、 Δd は MPPT にてデューティ比変動量を示す。また、*Duty sample* サンプルング時間を表す。

DAB コンバータ部の f_{DAB} はスイッチング周波数、 V_{grid} は直流系統電圧、 n_t はトランスの巻数比を示す。

DWPT 部の f_{INV} はインバータのスイッチング周波数を示し、Double-LCC 回路の共振素子の値を示す。

さらに、(4)~(6)式に各パラメータによる電力の計算式を示す。

$$P_{PV} = V_{PV} * I_{PV} \quad \text{.....(4)}$$

$$P_{in} = V_{DCbus} * I_{DWPT} \quad \text{.....(5)}$$

$$P_{out} = V_{EV} * I_{out} \quad \text{.....(6)}$$

ここで、 P_{PV} は PV の出力電力、 P_{in} は DWPT の送電電力、 P_{out} は DWPT の受電電力を示す。

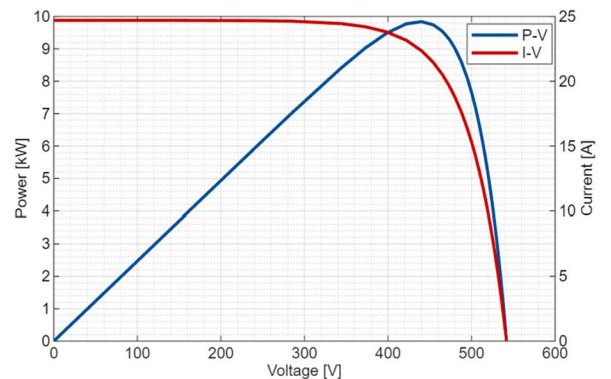
〈3・2〉 シミュレーション結果 シミュレーション結果を Fig. 6、7、8、9 に示す。

Fig. 6 は結合係数および PV の I-V 特性、P-V 特性を示す。Fig. 6 (a)は結合係数の時間変化を示している。これより、2.3~3.5 秒および 9~10 秒の区間で車両が送電コイル上を通過していることが確認できる。また、2.5 秒付近の矢印は INV 部分の送電電力量が変化する点を表している。

Fig. 6 (b)は PV の I-V 特性および P-V 特性を示しており、日射量 1000 W/m²条件において最大出力電力は約 10 kW となる。

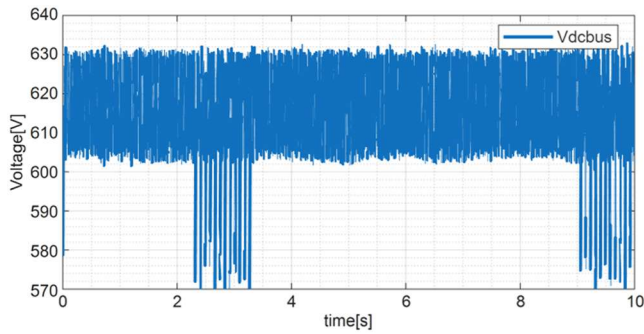
次に、提案システムにおける大容量キャパシタの必要性を確認するため、DC バス容量の違いによる DC バス電圧の比較結果を Fig. 7 に示す。Fig. 7(a)は文献⁹⁾で用いられている DC バス容量を適用し、提案する可変 DC バス制御を用いた場合の結果であり、Fig. 7(b)は提案システムにおいて大容量キャパシタを適用した場合の結果である。

Fig. 7(a)より、小容量条件では DWPT 負荷変動に伴い DC バス電圧が大きく変動することが分かる。一方、Fig. 7(b)では DC バス電圧が約 580~620 V の範囲で変動している。また、図中の枠で囲まれた領域は DAB コンバータ部において I_{DABref} が切り替わる区間を示している。さらに、DC バス

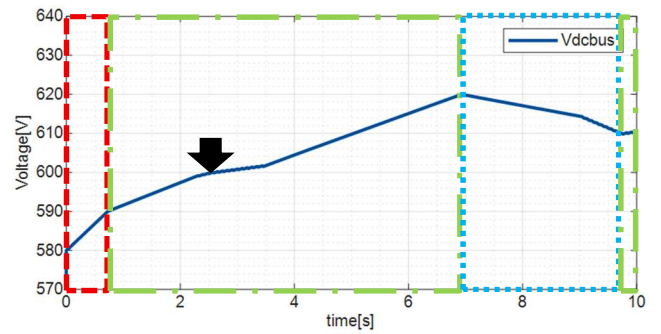


(b) P-V, I-V curve

Fig. 6 Simulation Conditions

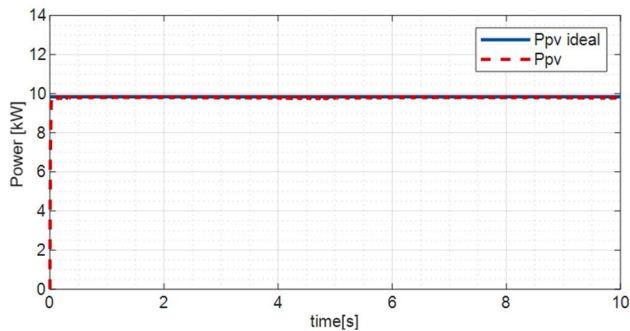


(a) Capacity conditions in Reference (9) (500 μ F)

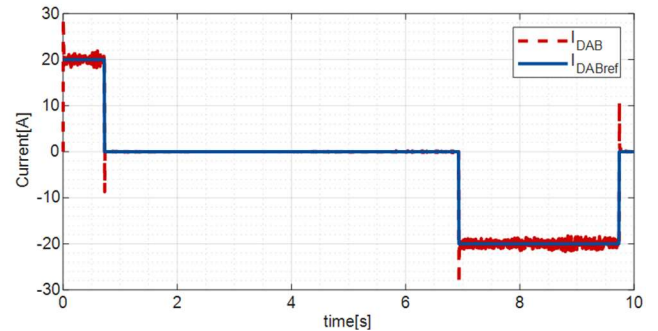


(b) Proposed System (2.5 F)

Fig. 7 Comparison of DC Bus Voltage Based on Differences in DC Bus Capacity

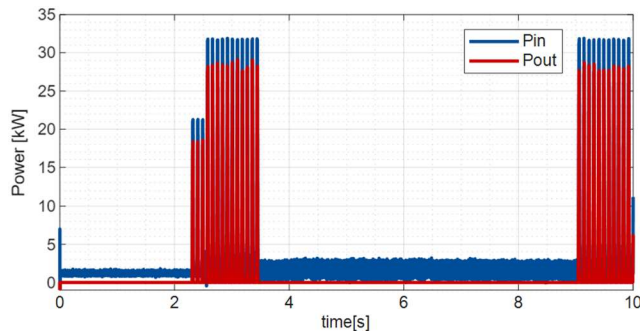


(a) P_{pv} tracking $P_{pv\ ideal}$

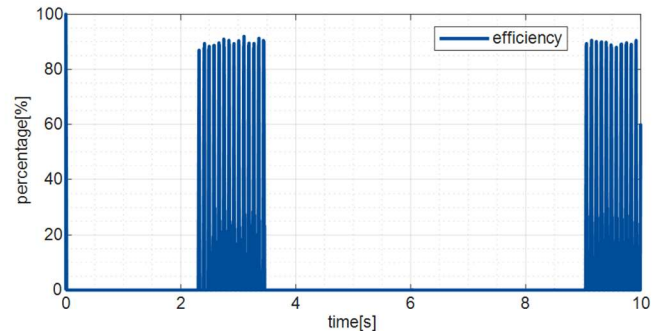


(b) I_{DAB} against $I_{DAB\ ref}$

Fig. 8 Results of current control in the MPPT control and DAB sections



(a) P_{in} and P_{out} in DWPT



(b) Power Transmission Efficiency

Fig. 9 DWPT Section Results

電圧が 600 V に達した時点の矢印は、INV 部における送電電力の切替点を示している。

文献⁽⁹⁾では DAB コンバータによって DC バス電圧を一定に維持し、電力系統がエネルギーバッファとして機能するため、Fig. 7(a)のような電圧変動は問題とならない。一方、本研究では DC バス電圧の変動を利用して電力授受を制御するため、電力変動を吸収するエネルギーバッファが必要となる。そのため、小容量条件では電力系統との電力授受が増加し、提案システムが目指す電力系統への負荷低減効果を十分に得ることが困難である。

これに対し、Fig. 7(b)では大容量キャパシタによって電力変動の一部をシステム内で吸収できている。以上より、提案する可変 DC バス制御の効果を十分に発揮するためには、十分な容量を有する大容量キャパシタが必要であるこ

とが示された。

以上の結果を踏まえ、Fig. 8 に大容量キャパシタを適用した提案システムにおける PV 部および DAB コンバータ部の結果を示す。Fig. 8 (a)より、DC バス電圧が変動している場合でも P_{pv} が $P_{pv\ ideal}$ に追従していることが分かる。したがって、MPPT 制御は正常に動作していると考えられる。

Fig. 8 (b)より、DC bus 電圧が低電圧領域 (0~約 0.7 秒) では I_{DABref} は I_F に設定され、電力系統から DC バスへ電力が供給されている。一方、標準電圧領域(約 0.7~6.9 秒および約 9.7~10 秒) では I_0 となり、電力授受がほぼゼロとなる。さらに、高電圧領域(約 6.9~9.7 秒) では I_R に切り替わり、電力系統へ逆潮流が生じている。

以上より、DAB コンバータは DC バス電圧に応じて順潮流、電力授受なし、逆潮流を切り替えながら動作している

ことが分かる。したがって、DC バス電圧を基準とした電力授受制御が実現できていると考えられる。

なお、指令値切替時に見られるオーバーシュートおよびアンダーシュートは、指令値のステップ変化に対する過渡応答によるものである。

さらに、DC バス電圧を利用した INV 部の送電電力制御結果を Fig. 9 に示す。Fig. 9 (a)より、DC バス電圧がしきい値 V_{std} を超えた約 2.5 s 付近において、送電電力は 21 kW から 32 kW へ増加している。これは約 1.5 倍の送電電力増加に相当する。

この結果は、PV 余剰電力により DC バス電圧が上昇した際に、INV 部が送電電力を増加させる制御が正常に動作していることを示している。したがって、PV の余剰電力を電力系統へ逆潮流させる前に EV へ優先的に利用できる可能性を有する。また、余剰電力を DWPT 側で消費することにより、電力系統が吸収する余剰電力量の低減にも寄与できると考えられる。さらに、大容量キャパシタによって DWPT 負荷変動の一部をシステム内で吸収できるため、電力系統がエネルギーバッファとして担う役割の軽減にも寄与できると考えられる。

Fig. 9 (b)より、電力伝送効率は最大で約 90 %に達することが確認できる。また、EV が送電コイル上を走行していない区間では待機電力が観測される。これは、INV 部において待機時に位相を絞る制御を行っていないことに起因すると考えられる。今後は待機時の位相シフト制御等を導入し、待機損失の低減についても検討する予定である。

4. 結論

本論文では、DAB コンバータを介して系統連系された可変 DC バスを有する PV + DWPT システムを提案し、MATLAB/Simulink を用いたシミュレーションによりその有効性を検証した。シミュレーション結果より、DC バス電圧を一定範囲内で変動させる構成においても、PV の MPPT 制御、DAB コンバータによる電力授受制御、および INV 部の送電電力制御が適切に動作することを確認した。

また、DC バス電圧の上昇時には送電電力を 21 kW から 32 kW へ増加させることで、PV 余剰電力を電力系統へ逆潮流させる前に EV への送電電力として利用できる可能性を示した。さらに、EDLC を用いて PV 出力および DWPT 負荷変動の一部をシステム内で吸収することで、電力系統との電力授受変動を緩和できる可能性を示した。

以上より、提案システムは再生可能エネルギーと DWPT を統合した電力システムとして有効であり、エネルギーの地産地消および電力系統への依存低減に貢献できる可能性を有する。

今後は、本論文で得られたシミュレーション結果を基に、ベンチスケールシステムを用いた実験を行い、提案手法の実機適用性を検証する予定である。

文 献

- (1) R. Tavakoli and Z. Pantic, "Analysis, Design, and Demonstration of a 25-kW Dynamic Wireless Charging System for Roadway Electric Vehicles," in *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, vol. 6, no. 3, pp. 1378-1393, Sept. 2018
- (2) A. C. Bagchi, A. Kamineni, R. A. Zane and R. Carlson, "Review and Comparative Analysis of Topologies and Control Methods in Dynamic Wireless Charging of Electric Vehicles," in *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, vol. 9, no. 4, pp. 4947-4962, Aug. 2021
- (3) J. Rahlukumar. *et al.*, "An Empirical Survey on Wireless Inductive Power Pad and Resonant Magnetic Field Coupling for In-Motion EV Charging System," in *IEEE Access*, vol. 11, pp. 4660-4693, 2023
- (4) Z. Deng *et al.*, "Design of a 60-kW EV Dynamic Wireless Power Transfer System With Dual Transmitters and Dual Receivers," in *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, vol. 12, no. 1, pp. 316-327, Feb. 2024
- (5) A. Babaki, S. Vaez-Zadeh, M. F. Moghaddam and A. Zakerian, "A Novel Multi-Objective Topology for In-Motion WPT Systems with an Input DG Source," 2019 10th International Power Electronics, Drive Systems and Technologies Conference (PEDSTC), 2019, pp. 787-792
- (6) M. Sugizaki, S. Urano, T. Imura and Y. Hori, "Proposal for the System of Dynamic Wireless Power Transfer Connected with Photovoltaic in the Off-Grid Environment," 2022 IEEE 7th Southern Power Electronics Conference (SPEC), Nadi, Fiji, 2022, pp. 1-6
- (7) S. D. Niafenderi, P. Mandal, H. Wang and R. Zane, "DER-Integrated Grid Operations Under Extreme Weather Events Incorporating DWPT System," 2024 56th North American Power Symposium (NAPS), El Paso, TX, USA, 2024, pp. 1-6
- (8) N. Murayama, T. Imura and Y. Hori, "Power Stabilization of Dynamic Wireless Power Transfer System with Grid-connected Photovoltaic and DC Bus Voltage Control," 2024 IEEE Wireless Power Technology Conference and Expo (WPTCE), Kyoto, Japan, 2024, pp. 205-208
- (9) N. Murayama, T. Imura and Y. Hori, "Bench-Scale Experiment of Dynamic Wireless Power Transfer System with Grid-Connected Photovoltaic and DC Bus Voltage Control," 2025 IEEE Wireless Power Technology Conference and Expo (WPTCE), Rome, Italy, 2025, pp. 1-5
- (10) S. Li, W. Li, J. Deng, T. D. Nguyen and C. C. Mi, "A Double-Sided LCC Compensation Network and Its Tuning Method for Wireless Power Transfer," in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 64, no. 6, pp. 2261-2273, June 2015
- (11) J. M. Miller *et al.*, "Demonstrating Dynamic Wireless Charging of an Electric Vehicle: The Benefit of Electrochemical Capacitor Smoothing," in *IEEE Power Electronics Magazine*, vol. 1, no. 1, pp. 12-24, March 2014
- (12) Z. Shan, J. Jatskevich, H. H. -C. Iu and T. Fernando, "Simplified Load-Feedforward Control Design for Dual-Active-Bridge Converters With Current-Mode Modulation," in *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, vol. 6, no. 4, pp. 2073-2085, Dec. 2018