

電力系統の電圧運用・制御技術

電力系統の電圧運用・制御技術調査専門委員会編

目 次

1. はじめに	03	3.3 電力システム改革進展による電圧運用への影響	51
1.1 目的	03	3.3.1 電圧調整電源の運転台数減少による影響	51
1.2 調査概要	03	3.3.2 発送電分離による影響	52
1.3 本報告書における用語の定義	03	3.4 環境変化による電圧運用への影響	52
1.3.1 無効電力	03	3.4.1 ケーブル系統の増加による電圧運用への影響	52
1.3.2 基幹系統・ローカル系統	04	3.4.2 電力需要の減少(省エネ進展および高効率機器の導入など)による電圧運用への影響	54
1.3.3 再生可能エネルギー電源	05	3.5 電圧運用の影響への対策	55
1.3.4 順潮流・逆潮流	05	3.5.1 電源の系統連系に伴う技術検討	55
2. 電力系統の電圧運用と制御技術の現状	06	3.5.2 電圧上昇・低下対策	56
2.1 電圧運用の必要性和制御手法	06	3.5.3 電圧変動対策	56
2.1.1 電圧運用の必要性	06	3.6 まとめ	57
2.1.2 電力系統の電圧の性質	06	4. 電圧の安定化を目的とした国内外の最新動向	59
2.1.3 電圧調整設備と制御手法	12	4.1 電圧調整用設備	59
2.1.4 数値計算による電圧解析手法	16	4.1.1 STATCOM	59
2.2 電力系統における設備と電圧運用の現状	20	4.1.2 蓄電池	61
2.2.1 電圧・無効電力制御の目的	20	4.1.3 スマートインバータ	62
2.2.2 電圧調整設備に関する設備計画	25	4.1.4 系統連系用自励式交直変換器	64
2.2.3 電圧制御に関わる設備と制御方式の現状	25	4.1.5 分散型電源の単独運転防止機能(新型能動方式)に伴うフリッカ問題と対策	65
2.2.4 電圧・無効電力の運用の現状	36	4.2 海外での電圧異常の事例と対策	66
3. 電圧運用における課題と対策	47	4.3 無効電力制御に関する取り組み	67
3.1 予想される現象と要因	47	5. おわりに	69
3.2 再生可能エネルギー電源導入による電圧運用への影響	48		
3.2.1 太陽光発電の連系による影響	48		
3.2.2 風力発電の連系による影響	50		
3.2.3 バイオマス発電の連系による影響	51		

電力系統の電圧運用・制御技術調査専門委員会委員

委員長	宮内 肇 (熊本大学)	主な	山田 真 (富士電機)
幹事	高崎 真司 (九州電力)	参加者	佐野 正裕 (三菱電機)
幹事補佐	江口 貴之 (九州電力)		泉 裕太 (北海道電力)
委員	原 亮一 (北海道大学)		飛田 雄一 (東北電力)
	飯岡 大輔 (東北大学)		関口 智弘 (東北電力)
	田村 滋 (明治大学)		関 弘昭 (東京電力 P G)
	高野 浩貴 (岐阜大学)		片山 智文 (中部電力)
	高山 聡志 (大阪府立大学)		小竹 達也 (北陸電力)
	造賀 芳文 (広島大学)		佐本 進 (関西電力)
	北條 昌秀 (徳島大学)		西尾 誠 (中国電力)
	田能村 顕一 (東芝エネルギーシステムズ)		佐々木 忍 (四国電力)
	齋藤 直 (日立製作所)		上井 久夫 (四国電力)
	小島 武彦 (富士電機)		黒川 剛志 (電源開発)
	小島 康弘 (三菱電機)		守末 奨 (九州電力)
	田邊 隆之 (明電舎)		堀内 聡吏 (九州電力)
	小林 広介 (東京ガス)		
	阿彦 幸一 (北海道電力)		
	阿部 公哉 (東北電力)		
	栗原 重雄 (東京電力 P G)		
	津田 克巳 (中部電力)		
	岸 靖久 (北陸電力)		
	川上 智徳 (関西電力)		
	杉山 弘幸 (中国電力)		
	永野 靖生 (四国電力)		
	兼島 安洋 (沖縄電力)		
	佐藤 雅敏 (電源開発)		
	永田 真幸 (電力中央研究所)		

途中退任

幹事補佐	野見山 史敏 (九州電力)
委員	塚田 龍也 (東京ガス)
	松本 光裕 (東北電力)
	福田 拓広 (東京電力 P G)
	甲斐 静治 (中部電力)
	福島 敏 (関西電力)
	植松 幸雄 (四国電力)
	齊藤 文彦 (電源開発)

1. はじめに

1.1 目的

太陽光発電（PV：Photo Voltaic）や風力発電、バイオマス発電などを利用した再生可能エネルギー電源（以下、再エネ電源と記載する。詳細は1.3.3 再生可能エネルギー電源に記載）の導入増加や電力システム改革の進展による電力市場の活性化に伴い、送電線を通る潮流の量や向きの想定および調整が困難化し、電力系統の電圧運用・制御技術も従来とは異なる対応が必要となる。

従来の電力系統においては、需要規模の拡大、電源の遠隔化・偏在化、広域運営の拡大などを前提として、大電力を都市部の需要地へ比較的長距離にわたって計画的に送電しており、電力系統の電圧運用・制御技術は、その形態にあわせて発展してきた。

これまで電気学会では、「電力系統の電圧安定維持対策」（電気学会技術報告第73号：1979年）、「電力系統の電圧・無効電力制御」（電気学会技術報告第743号：1999年）で、電力系統の電圧や無効電力の運用実績および制御方式などを調査報告してきた。

しかしながら、前回の調査から既に20年経過し、電力系統を取り巻く環境も大きく変わってきている。1995年の独立系発電事業者（IPP：Independent Power Producer）の導入、2000年の特定規模電気事業者（PPS：Power Producer and Supplier）による電力小売り部分自由化から、規制緩和が促進され、2016年には電力小売り全面自由化が導入された。また、2012年には再生可能エネルギー固定価格買取制度（FIT：Feed In Tariff）が始まり、以来、2018年9月時点で4710万kWのPV、360万kWの風力発電が全国で導入されている⁽¹⁾。今後もPVや風力発電を代表とする再エネ電源の導入量は増加することが予想される。

再エネ電源の導入量増加により、需要と供給のバランスを維持するために、火力発電機などの同期発電機の運転機会が減少している。それに伴い、電力系統全体の発電機による電圧調整能力が低下し、電圧調整が困難になりつつある。既に、一部の電力系統では、軽負荷期の昼間帯の電圧が通常よりも高めになる場合が生じている。また、再エネ電源の導入量増加や電力システム改革の進展などにより、電力の供給形態が変わり、送電線を通る潮流の量や向きが従来とは大きく変化する。そのため、従来の電圧運用・制御技術では系統電圧を適正に維持することがいっそう難しくなることが想定され、電力系統の電圧運用の実態ならびに電圧制御技術もそれらの変化に応じて、変わりつつある。

そこで、本調査専門委員会では、電力系統における電圧運用の実態を把握した上で、再エネ電源の大量導入や電力システム改革の進展など電力系統を取り巻く環境の変化が電圧運用におよぼす影響、ならびに電圧制御技術を整理することを目的として、調査を行った。さらには、電圧の安

定運用を維持するための対策について、国内外の事例を調査した。これらの結果をまとめることで、将来にわたり電力系統の電圧の安定運用に寄与する。

1.2 調査概要

電力系統における電圧運用ならびに電圧制御技術の実態を把握し、再エネ電源の大量導入や電力システム改革の進展などによる需要地への電力供給形態の変化が電圧運用におよぼす影響などを踏まえ、これまでおよびこれからの電圧運用の問題点について、国内を中心に調査・整理する。さらに、電圧の安定運用を行うための対策について、海外の事例も含めて調査を実施する。調査内容は以下のとおりである。

- ・電力系統の電圧運用と制御技術の現状（電圧運用の必要性和制御手法、電圧運用の現状）
- ・電圧運用における課題と対策（再エネ電源の大量導入や電力システム改革の進展などが電圧運用におよぼす影響とその対策）
- ・電圧運用・制御技術の最新動向
- ・海外における電圧・無効電力制御の現状と動向

1.3 本報告書における用語の定義

本節では、異なる解釈が想定される用語について、本報告書での定義を述べる。

1.3.1 無効電力

電力には皮相電力、有効電力、無効電力がある。皮相電力は、電圧と電流を乗じた電力であり、そのうち、負荷で消費される電力が有効電力、負荷で消費されない電力が無効電力である。図1.1の電力のベクトル図に示す関係となり、同図中の θ は電圧と電流の位相差を表している。

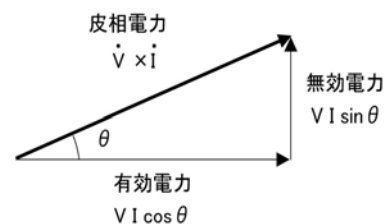


図 1.1 電力のベクトル図

Fig. 1.1. Vector diagram of power

無効電力は、インダクタンスやキャパシタンスに通電する場合に、電圧と電流との間に位相差を生じることで発生する。無効電力という名称から、電力系統に作用しない印象を与えるが、無効電力を制御することで電圧を変化させることが可能であり、電力系統の電圧の適正維持には欠かせない重要な役割を担っている。

無効電力の正負は、電圧と電流、どちらの位相が進んでいるかで決まる。電力系統では、電圧を基準として、電流の位相が遅れている場合（図1.2）を正の無効電力、電流の位相が進んでいる場合（図1.3）を負の無効電力として考える。つまり、インダクタンスなどの誘導性負荷は正、コン