

## 学 位 論 文 内 容 の 要 旨

学位論文題目	Active Power Line Conditioner Topologies and Control Strategies in Electrified Railways and Three-Phase Four-Wire Distribution Feeders ( ( 電気鉄道用および三相 4 線式配電用アクティブパワーラインコンディショナトポロジーとその制御法)
--------	--

氏 名	TINT SOE WIN
-----	--------------

The power quality plays an important role in all areas of power generation, transmission and distribution for the economic operation of the power system and greenhouse gas reduction. The power quality problems are generally known as the deviations in voltage, current, frequency and temperature from their nominal values. This dissertation deals with power quality improvement devices for the electrified railways and three-phase four-wire distribution systems.

In the Chapter 1, the important of power quality is discussed from the economic point of view using European power quality survey. The survey shows that poor power quality such as voltage dips and swells, harmonic and unbalanced condition costs European business more than €150 billion a year. The standards, recommended practices, guidelines and requirements from the various organizations are presented for the good power quality. Then the power quality improving devices, passive power filter and active power filter (APF), is reviewed with their advantages and drawbacks. The APF has multi-compensation characteristic and good in dynamic response. The aims of researches are to propose a new active power quality compensator (a single-phase APF) for the electrified railways and to propose a new active load balancer (a three-phase APF) for the three-phase four-wire distribution systems.

Chapter 2 describes two main power quality problems, harmonic and unbalanced condition in voltage and/or current. These two power quality problems directly effect on the distribution equipments as well as the consumer loads. The analysis methods, the limitation and recommended practices regarding the harmonic and unbalanced condition are presented. Then adverse effects of harmonics and unbalanced condition in distribution systems equipments such as transformers, cables as well as the consumer appliances are discussed in details.

In the Chapter 3, the power supply system and the power quality problems in the electrified railways are described. Electrified railways use single-phase power feeders for locomotives and generate harmonic current under unbalanced load condition. Therefore, active power quality compensator (APQC) was installed in Nagano Shinkansen since 1997. Many researchers proposed APQC with lower power switching device than the original one. But one-leg of the switching device of APQC needs higher current rating than others. Therefore a half-bridge inverter based APQC topology is proposed to reduce the power devices current rating. The proposed APQC topology was confirmed with simulation and experimental results. The proposed APQC topology can reduce power devices current rating with good compensation characteristics. But the same control strategy in the previously proposed method was used in the proposed APQC. The previous control strategy requires the instantaneous power calculation steps for the active load current detection, and therefore a new simpler control strategy is strongly required for the APQC.

A new simple constant DC capacitor voltage control strategy for the half-bridge inverter based APQC is proposed in the Chapter 4. The basic principle of constant DC capacitor voltage control strategy for the APQC is discussed in electrified railways. The constant DC capacitor voltage control

can detect effective active load current. Thus, active-reactive calculation blocks of load currents are reduced in the proposed method. The proposed constant DC capacitor voltage control strategy is confirmed by simulation and experiment under harmonic and unbalanced load condition. Simulation and experimental results shows that the proposed control strategy can achieve good compensation characteristics, and calculation time of control program was reduced.

Chapter 5 discusses about active load balancer (ALB) in three-phase four-wire distribution systems. The main power quality problems in three-phase four-wire distribution systems are unbalanced load condition and reactive power requirement. The various power circuit topologies for the ALB in three-phase four-wire distribution systems are detail. Simulation results shows that four-leg topology based ALB has superior compensation characteristics in three-phase four-wire distribution systems. For the control strategy of the ALB, the instantaneous active-reactive power theory is widely used. The three-phase active, reactive load currents can be detected by this theory. This theory based control strategy, however, requires a significant amount of calculation steps. Therefore, a new constant DC capacitor voltage control based strategy for the ALB is proposed to reduce active current detection steps in the control strategy. The basic theory of constant DC capacitor voltage control strategy for the ALB under unbalanced load condition is discussed in detail and confirmed by the simulation. Experimental model of the ALB in three-phase four-wire distribution systems was also constructed and tested. Experimental results show that constant DC capacitor voltage control strategy achieves good compensation characteristic. The loss analysis of the distribution transformer is performed with/without the ALB. The experimental results show that the transformer loss can be reduced by using the ALB.

The relative power rating of the ALB with the distribution transformer (system) is a key design factor in practical applications. A reactive power control strategy is proposed in the Chapter 6 to reduce the power rating of the ALB. The basic principle of the reactive power control strategy with constant DC capacitor voltage control is discussed for the ALB. The proposed reactive power control strategy was confirmed with both simulation and experiment. Simulation and experimental results show that source power factor can be controlled using proposed control strategy in three-phase four-wire distribution systems. Then the relationship between the power rating of the ALB and source side power factor (reactive power amount) is discussed with theoretical calculation, simulation and experimental results. The calculated value, simulation and experimental results show that controlling the source-side reactive power (power factor of 0.9) can reduce the ALB power rating by 26% compared to the source side unity power factor control.

The utility try to improve the power quality using compensation devices because the distribution loss can be the same or even higher than in transmission area. In the Chapter 7, the power conditioning devices in distribution areas are summarized. The proposed active power quality compensator topology and control strategy for electrified railways can reduce the size, weight and volume. Therefore, the proposed APQC is suitable for practical application. The active load balancer (ALB) with the proposed constant DC voltage control strategy is simple and has good compensation characteristic in three-phase four-wire distribution systems. Moreover, the reactive power control method can adjust source side power factor providing reduction of the ALB power rating. Therefore, our proposed method is simple, reliable and cost effective in three-phase four-wire distribution areas. In Chapter 5, the reduction of transformer loss was analyzed using the ALB. But the distribution line and consumer load efficiency were not analyzed. Therefore, the overall loss analysis should be done in the future. In addition, the Chapters 5 and 6 examine the ALB under linear unbalanced load conditions. But the non-linear consumer loads become increasing. Therefore, the proposed control strategies in Chapters 5 and 6 should be verified under non-linear (distorted load) condition in the future.

## 【論文審査結果の要旨】

電気鉄道は、三相3線式配電から単相2回線で上り下り用電車に電力が供給される。在来線を走行する電気機関車にはサイリスタを用いた電動機駆動システムが現在も用いられており、三相3線式配電側から見ると不平衡状態で、かつ、高調波を発生する電力品質の低い負荷状態となっている。したがって、高調波電流、無効電流および不平衡有効電流を補償し、三相3線式配電側では平衡状態でかつ高調波電流が補償された状態とすることで電力系統の電力品質を保証することができる。一方、日本や米国台湾などでは、産業用機器には三相配電で電力を供給し、家庭などの負荷に関しては単相で電力を配電しているが、近隣アジアにおける諸国では三相4線式配電により産業用機器および家電機器の両者に電力を供給している。この三相4線式配電において、単相機器が接続されることで三相3線式配電側から見ると不平衡状態で、かつ、無効電流を発生する電力品質の低い負荷状態となっている。したがって、無効電流および不平衡有効電流を補償し、三相3線式配電側では平衡状態でかつ高調波電流が補償された状態とすることで電力系統の電力品質を保証することができる。本学位論文は、これら電気鉄道および三相4線式配電において電力品質を保証可能なアクティブパワーラインコンディショナについて、その回路トポロジーと制御法を詳細に論じている。

第1章では、電力系統における電力品質保証に関する技術的な背景を述べている。また、電気鉄道および三相4線式配電における電力品質保証に関するこれまでの研究経過を明らかにし、本学位論文の目的を明らかにしている。

第2章では、電力品質障害を引き起こす高調波および三相不平衡について電気工学の観点から、その定義を明らかにし、引き起こされる障害について論じている。さらに、これらの障害を解決できるアクティブパワーラインコンディショナの制御原理および主回路を構成する電力用半導体から構成されるPWMインバータの基本原理を述べている。

第3章と第4章では、本学位論文で提案している直流キャパシタ電圧バランスを有する単相ハーフブリッジ回路を用いた新しい電気鉄道用アクティブフィルタトポロジーを提案し、その有効性をシミュレーションと実験により確認している。第3章ではこれまで提案されている単相フルブリッジ方式電気鉄道用アクティブパワーラインコンディショナの回路トポロジーと制御法について述べている。この方式では、主回路に8個の電力用半導体素子が必要で、さらに、高調波電流を補償することができないという工学的な課題を明らかにしている。さらに、3レグ方式アクティブパワーラインコンディショナの回路トポロジーについて詳細に論じ、第3のレグの電流定格が他のレグの電流定格よりも大きくなる工学的な欠点を明らかにしている。そこで、第3章では直流キャパシタ電圧バランスを有する単相ハーフブリッジ回路を用いた新しい電気

鉄道用アクティブパワーラインコンディショナトポロジーを提案し先に提案されている問題点を克服できることを明らかにしている。シミュレーション結果と実験結果により提案したアクティブパワーラインコンディショナの有用性を明らかにしている。第4章では、第3章で提案した新しい電気鉄道用アクティブフィルタトポロジーの制御方式として直流キャパシタ電圧一定制御系のみを用いた簡易な制御法を提案し、その有効性をシミュレーションと実験により明らかにしている。本提案方式では、無効電流および不平衡有効無効電流の検出演算ブロックを用いることなくアクティブパワーラインコンディショナに通常用いられている直流キャパシタ電圧一定制御系のみを用いることで正弦波平衡状態の電源電流を実現できる点に特長がある。シミュレーション結果と実験結果により第3章で提案した直流キャパシタ電圧バランスを有する単相ハーフブリッジ回路を用いた新しい電気鉄道用アクティブフィルタの制御法の有効性を確認している。

第5章では、4レグインバータを用いた三相4線式配電用アクティブロードバランスの新しい回路トポロジーを提案し、その有効性を明らかにしている。本章で提案したアクティブロードバランスの制御法として、第4章で提案した直流キャパシタ電圧一定制御系のみを用いた簡易な制御法を用いることにより電源側で平衡三相状態にできることをアクティブロードバランスのパワーフローから理論的に明らかにしている。提案した三相4線式配電用アクティブロードバランスの新しい回路トポロジーの有効性をシミュレーションと実験により確認している。しかしながら、提案したアクティブロードバランスの本格的な実用化に際してはアクティブロードバランスと直流キャパシタ容量を低減することが求められる。これらのことから、第6章では電源側の力率を電気供給約款で定められた0.9とすることでアクティブロードバランスと直流キャパシタ容量を低減可能な制御方式を提案し、その有効性をシミュレーションと実験により明らかにしている。

第7章では、本研究の結論と今後の検討課題について述べている。

#### 【本審査及び公聴会における主な質問内容】

①電気鉄道用アクティブパワーラインコンディショナではハーフブリッジトポロジーを提案し三相4線式配電用アクティブロードバランスではフルブリッジトポロジーを提案しているがその理由について、②ハーフブリッジトポロジーにおいて直流キャパシタが直列接続されているがこの直列接続されたキャパ容量について設計法、③三相3線式配電に提案したアクティブロードバランスを応用した場合の電力品質保証特性、④PWMインバータの出力電流フィードバック制御に単相回路上のdq変換を用いた工学的な有用性、などに関する質問があった。いずれの質問に対しても発表者からの的確な回答がなされた。

以上より、本研究は実用性、創造性、有効性、信頼性ともに優れ、博士(工学)の学位論文に十分値するものと判断した。