

真空バルブ式 負荷時タップ切換器

Vacuum Interrupter-Type Load Tap Changers

杉山 裕紀

鹿子木 修

江口 直紀

■SUGIYAMA Hironori

■KAKOKI Osamu

■EGUCHI Naoki

負荷時タップ切換器 (LTC : on-Load Tap Changer) は、運転状態の変圧器において電圧調整のためにタップを切り換える装置である。従来から使用されている油中アーク切換式LTCは、タップ切換え時に油中に発生するアークにより切換接点が消耗するため、定期的な保守点検を必要とする。また、アークによるスラッジで汚染された絶縁油をろ過するために、活線浄油機が必要になる。真空バルブ式LTC (VI-LTC) は、油中にアークが発生しないため絶縁油を汚染せず、切換接点の消耗も非常に少ないことから、保守インターバルの延伸化や機器の長寿命化が可能であり、近年注目が高まっている。

東芝は、30 MVA級変圧器に適用可能な真空バルブ式LTCを既に製品化しているが、このたび、154 kV-100 MVA級までの変圧器に適用可能な中容量器を開発した。真空バルブには多数の実績がある当社技術を適用し、また回路切換方式には優れた性能と高い信頼性を実現する当社固有の方式を採用した。

On-load tap changers (OLTCs) are used to change the tap of an energized transformer in order to adjust the voltage. As the diverter switch of OLTCs for conventional oil-immersed transformers is subjected to erosion due to arcing in the oil during tap changing operations, oil contaminated by the resultant sludge must be purified by an oil filter and it is necessary to perform inspections and maintenance at regular intervals. Vacuum interrupter-type load tap changers (VI-LTCs) have recently been attracting considerable attention as a solution for the extension of maintenance intervals and operating lifetimes, because the contacts of the vacuum interrupters are not significantly worn away and the oil is only slightly stained.

Toshiba has already developed and released VI-LTCs applicable to oil-immersed transformers of up to the 30 MVA class. We have now newly developed VI-LTCs of intermediate capacity applicable to oil-immersed transformers of up to the 154 kV-100 MVA class.

1 まえがき

負荷時タップ切換器 (LTC : on-Load Tap Changer) は、運転状態において変圧器の巻数比 (変圧比) を変えることで電圧を調整する装置である。一般に、変圧器のタップ巻線のうち運転するタップを選択するタップ選択器と、通電状態のまま、選ばれたタップに回路を切り換える切換開閉器から構成される。現在、数多く使われている油中アーク切換式LTCの切換開閉器は、変圧器本体とは別の油中容器内に設置されており、発生したアークを切りながら回路を切り換える。このため、切換接点が消耗し定期的に保守交換が必要なだけでなく、油中アークにより発生するカーボンスラッジをろ過するためLTCの外部に活線浄油機が必要である。

近年、電力機器を取り巻く環境として、保守インターバルの延伸化や機器の長寿命化を求める動きがあり、切換開閉器に真空バルブを用いたLTCへの注目が高まっている。

東芝は、30 MVA級の変圧器に適用できる小容量の真空バルブ式LTC (VI-LTC) を2000年に製品化して以降、より高い定格の変圧器に適用できるVI-LTCの開発を進めてきた。今回、154 kV-100 MVA級の変圧器に適用できる中容量器 (図1) を開発したので、以下にその概要を述べる。

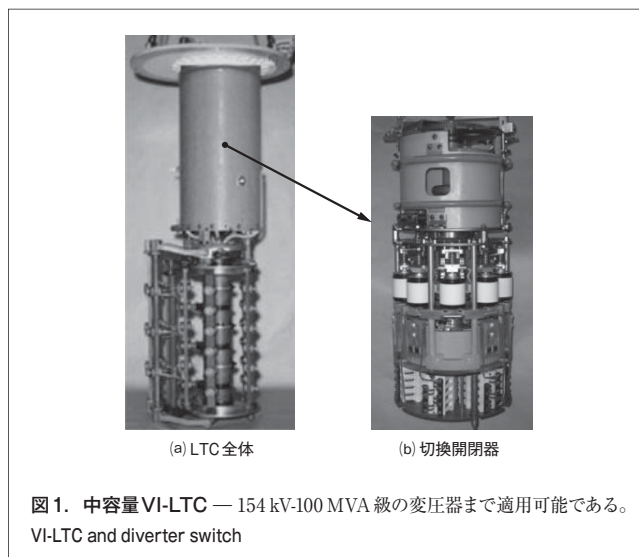


図1. 中容量VI-LTC — 154 kV-100 MVA級の変圧器まで適用可能である。
VI-LTC and diverter switch

2 VI-LTCの特徴

VI-LTCは、真空バルブで電流を遮断するため、従来の油中アーク切換式LTCのように油中でアークを発生させることがなく、絶縁油の汚染や劣化がない。更に、接触子の消耗が極めて少ない。また一般に、LTCの切換回路は、負荷電流を

開閉する主接点と、負荷電流及び巻線タップ間の循環電流をも開閉する抵抗接点から構成される。変圧器の負荷が減少すると主接点の遮断電流は減少するが、抵抗接点の遮断電流は循環電流があるためそれほど減少せず、油中アーク切換式では、主接点と抵抗接点で接触子の消耗量が差が発生する。この現象を、アンバランス消耗と呼んでいる。アンバランス消耗が発生すると接点の切換シーケンス（順序）に不具合が生じることがあり、タップ間短絡を引き起こす懸念があることが知られている。真空バルブ式の場合は、接点の消耗が極めて少ないことからアンバランス消耗による不具合が生じない。

これらをまとめると、VI-LTCには次のようなメリットがあると言える。

- (1) 絶縁油中のカーボンスラッジをろ過する活線浄油機を省略できる。
- (2) 定期点検におけるつり上げ点検時に切換開閉器と油槽の清掃を省略できる。
- (3) 点検周期を約3～4倍と大幅に延伸できる。
- (4) 点検周期を延伸できるため、点検による油槽内絶縁油の交換回数を減らすことができ、絶縁油の総使用量を約1/3に低減できる。
- (5) アンバランス消耗が発生しない。

3 中容量VI-LTCの開発コンセプト

中容量VI-LTCの開発にあたっては、保守インターバルの延伸化、長寿命化、及び現行器との互換性などを検討し、開発コンセプトを以下のとおりとした。

- (1) LTC専用開発した当社製真空バルブを使用（図2）
- (2) 切換え時の信頼性を高める当社固有の切換方式を採用（図3）
- (3) 現行の中容量油中アーク切換式LTCと同等又はそれ以上の定格とし、更に、同じ寸法とすることで、切換開閉器のカセット交換が可能
- (4) 現行の中容量油中アーク切換式LTCと同じタップ選択器を使用

以下、各開発コンセプトの詳細について述べる。

3.1 東芝製真空バルブ

今回開発したVI-LTCには、1965年の生産開始以来、累計で300万本以上の生産実績がある当社製真空バルブの技術をベースにして、LTC専用設計したものを使用した。この真空バルブは、絶縁油中で使用されるため、可動軸とそれを支持するガイドの間から、ベローズ内側に絶縁油が入り込む。そこで、可動軸とガイドの間のスペースを増やし、絶縁油が抵抗なく出入りできるようにした。更に、真空バルブ内のシールド形状と素材を最適化し、多数回の電流開閉で発生する金属蒸気による真空バルブ内の汚染を抑制している。

3.2 東芝固有の切換方式

当社固有の2抵抗3バルブ切換方式を採用することで、以下の優れた性能を実現した。

- (1) 図3に示すように、抵抗接点用バルブを二つ配置することで、小容量器で一つだけ配置した回路と比較し、バルブ一つ当たりの遮断回数を減らすことができ、より大きな通過電流を遮断可能
- (2) 主接点の回路に切換スイッチを配置することで、主接点用バルブを一つにでき、従来の油中アーク切換式LTCで採用している2抵抗4バルブ方式と比べ、省スペース化できる。これにより、従来の油中アーク切換式と同じ寸法内で真空バルブを配置可能
- (3) 回路に直流電流があると電流零点がなく、真空バルブ

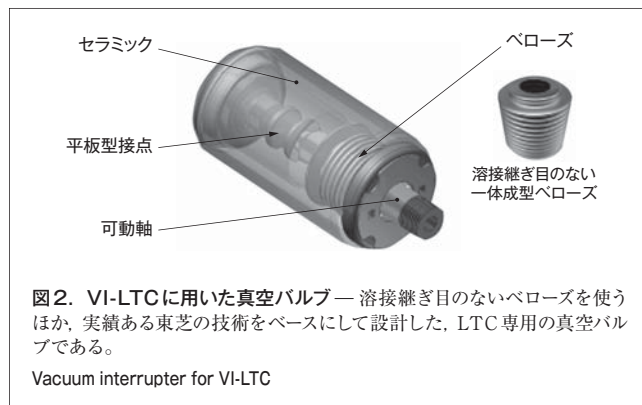


図2. VI-LTCに用いた真空バルブ — 溶接継ぎ目のないベローズを使うほか、実績ある東芝の技術をベースにして設計した、LTC専用の真空バルブである。

Vacuum interrupter for VI-LTC

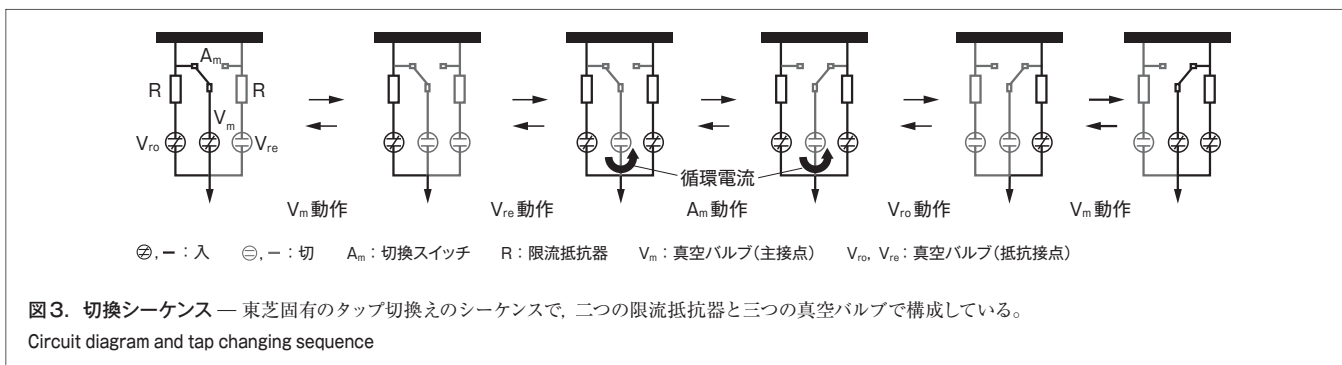


図3. 切換シーケンス — 東芝固有のタップ切換えのシーケンスで、二つの限流抵抗器と三つの真空バルブで構成している。

Circuit diagram and tap changing sequence

表1. 油中アーク切換式 LTC との仕様比較

Comparison of specifications of VI-LTC and conventional OLTC

項目	仕様	
	VI-LTC	油中アーク切換式 LTC
開閉器構成	2抵抗3バルブ式	2抵抗6接点式
耐電圧試験 (kV)	雷インパルス耐電圧: 550 商用周波耐電圧: 230	雷インパルス耐電圧: 550 商用周波耐電圧: 230
定格ステップ電圧 (V)	最大 3,000	最大 3,000
定格通過電流 (A)	600	550
ステップ容量 (kVA)	1,800	1,100
タップ点数 (点)	最大 35	最大 35
電氣的耐用 切換回数 (万回)	30	20
機械的耐用 切換回数 (万回)	90	80
点検周期	30万回	以下の切換回数ごと、又は切換回数に関係なく5年を経過したとき ・活線浄油機を使用し1日1回、1時間程度ろ過しているとき…10万回ごと ・活線浄油機を使用していないとき →運転中ろ過しないとき…7万回ごと →2万回ごとにろ過しているとき…10万回ごと
総質量 (kg)	400	320
切換開閉器の中身 つり上げ質量 (kg)	160	80
油量 (切換開閉器の 油槽) (L)	140	150

で電流を遮断できない場合があるため、主接点用バルブ開極後に循環電流を強制的に流すことで電流零点を確保し、信頼性を向上

3.3 切換開閉器のカセット交換対応

VI-LTCは、表1に示すように、現行器と同等又はそれ以上の定格とすることで現行器との互換性を持たせ、切換開閉器のカセット交換ができるようにした。点検周期は油中アーク切換式 LTC の7万~10万回ごとから、30万回ごとに延伸した。当面、フィールド器での実績ができるまでは、10万回での初回点検を推奨するが、将来的にはメンテナンスフリー化も可能である。更に、接点消耗の少ない真空バルブを用い、また、現行器よりも大きい限流抵抗器を使用することで、ステップ容量を1,100 kVA から1,800 kVA に増加し、適用範囲を拡大した。

更に、図4に示すように、切換開閉器の寸法を油中アーク切換式 LTC と同じにすることで、現行器との互換性を持たせた。切換開閉器上部の電界を詳細に解析し、シールドを追加することで対地絶縁の最適化を図っている。図5の断面図に示すように、油中アーク切換式では上下にシールド状のリングを1個配置しているのに対し、VI-LTCでは上部に平板状のシールドとシールドリングを、下部にシールドリングを3個配置した。これにより、真空バルブを配置したことによるスペース拡張分を吸収し、油中アーク切換式の切換開閉器をカセット交換できるようにした。

3.4 現行器と同じタップ選択器

前述のとおり、油中アーク切換式 LTC と互換性のある切換

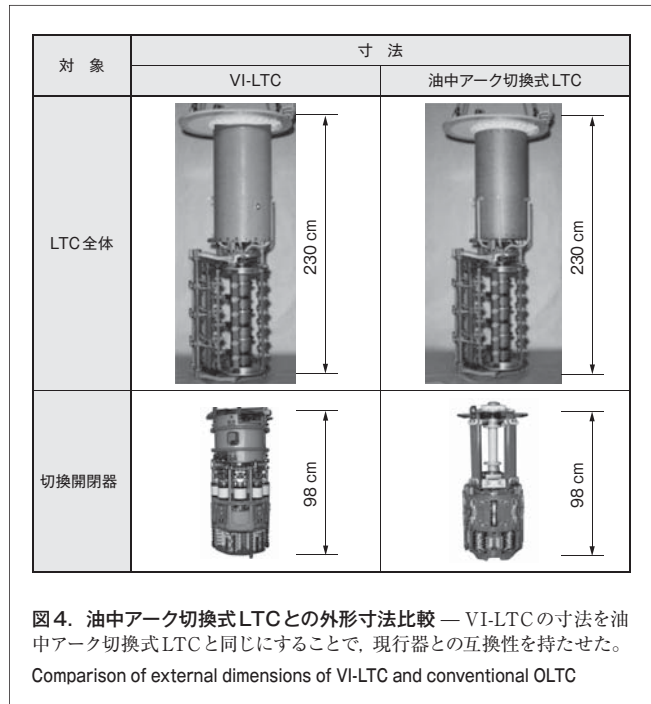


図4. 油中アーク切換式 LTC との外形寸法比較 — VI-LTC の寸法を油中アーク切換式 LTC と同じにすることで、現行器との互換性を持たせた。
Comparison of external dimensions of VI-LTC and conventional OLTC

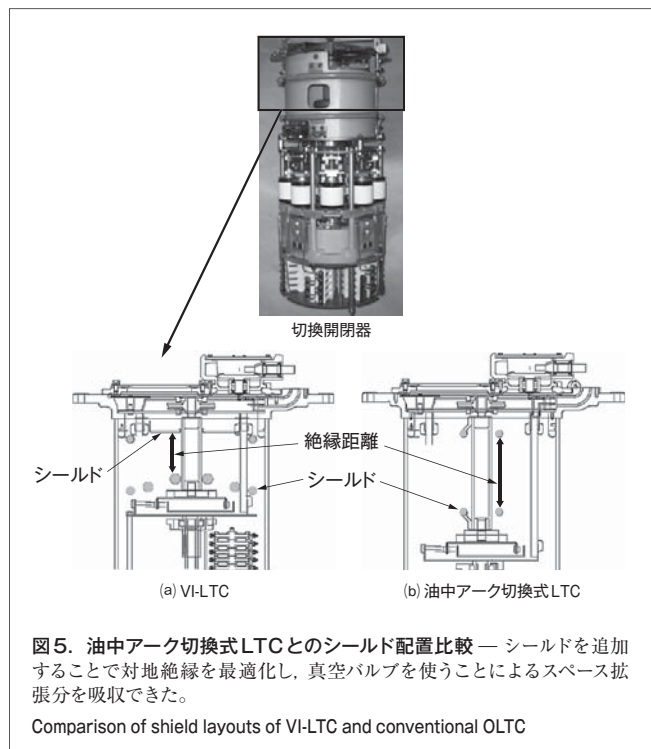
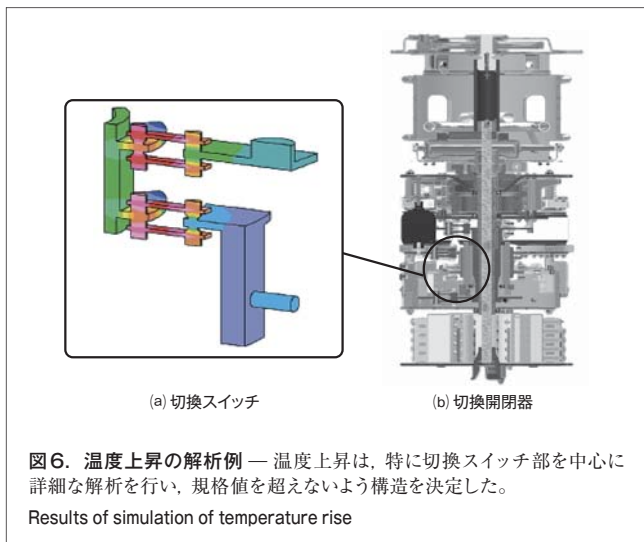


図5. 油中アーク切換式 LTC とのシールド配置比較 — シールドを追加することで対地絶縁を最適化し、真空バルブを使うことによるスペース拡張分を吸収できた。
Comparison of shield layouts of VI-LTC and conventional OLTC

開閉器とすることで、タップ選択器は十分な実績のある現行器と同じものを採用した。

4 設計評価と性能検証

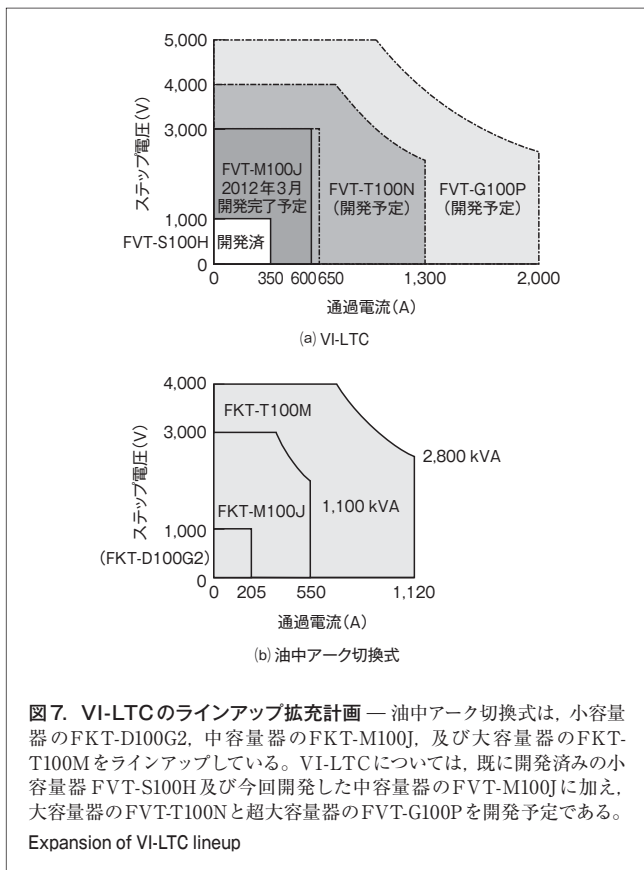
中容量 VI-LTC に対し、LTC の規格である JEC 2220 (電気学会 電気規格調査会規格 2220) -2007 に従って設計評価を



実施し、その性能を検証した。

中容量VI-LTC固有の2抵抗3バルブ切換方式については、定格電流切換え時の限流抵抗器の温度上昇を測定する定格電流切換試験、定格電流の1.5倍の遮断により切換能力を確認する過電流切換試験、及び定格通過電流の10倍を通电して短絡強度を確認する短時間耐電流試験を実施し、切換方式の妥当性を検証した。

絶縁設計については、雷インパルス耐電圧値の550 kVと、



商用周波耐電圧値の230 kVを満足することを、検証モデルの耐電圧試験で確認した。

温度上昇については、3次元温度上昇解析により構造を決定し、検証器での温度上昇試験で規格値の20 Kを超えないことを確認した(図6)。

機械的耐久性については、90万回の機械的耐久試験を実施し、各部の機械的破損や摩耗、トルクの変化などの異常がないことを確認した。

また、-35℃及び0.1 MPa-g各々の条件下で動作性能を評価し、温度と圧力に対する動作裕度が十分にあることを確認した。

5 VI-LTCのラインアップ拡充について

今回開発した中容量器は、2012年3月に形式試験を終了し、フィールド器への適用が可能になる。更に、より大きなステップ電圧や通過電流に対応可能な機種を開発し、ラインアップを拡充していく計画である(図7)。

6 あとがき

今回、当社の油中アーク切換式LTCの技術を継承しながら、真空バルブの技術を組み合わせることで、優れた性能と高い信頼性を兼ね備えた中容量のVI-LTCを開発した。これは、保守インターバルの延伸化や機器の長寿命化を求めるユーザーニーズに応える製品である。

今後は、更に大きなステップ電圧や遮断電流に対応可能な機種の開発を進め、全定格の変圧器への適用を目指す。

文献

- (1) 瀧口幸延 他. 油入変圧器用真空バルブ式負荷時タップ切換器. 東芝レビュー. 56, 10, 2001, p.52 - 55.



杉山 裕紀 SUGIYAMA Hironori

社会インフラシステム社 電力流通システム事業部 電力変電技術部。変電設備のエンジニアリング業務に従事。
Transmission & Distribution Systems Div.



鹿子木 修 KAKOKI Osamu

社会インフラシステム社 浜川崎工場 変圧器部主務。負荷時タップ切換器の開発・設計に従事。
Hamakawasaki Operations



江口 直紀 EGUCHI Naoki

社会インフラシステム社 浜川崎工場 変圧器部課長。負荷時タップ切換器の開発・設計に従事。
Hamakawasaki Operations