

サイリスタ式低圧自動電圧調整器 LTVRの開発

井深 直人^{※1}
Naoto Ibuka
村上 新吾^{※2}
Shingo Murakami
苅川 謙治^{※1}
Kenji Fugawa

Development of Low voltage Thyristor type step Voltage Regulator

1. はじめに

電気事業法は、低圧需要家に供給する電圧の適正範囲を $101 \pm 6 \text{ V}$ ($202 \pm 20 \text{ V}$) と定めている。配電線の電圧は電流の大きさや潮流方向により変化するため、適正範囲を逸脱しないよう対策する必要がある。

今回、サイリスタ式低圧自動電圧調整器「LTVR (Low voltage Thyristor type step Voltage Regulator)」を開発した。この機器は、低圧配電線の電圧を電流の大きさや潮流方向によらず調整し、適正範囲に維持することを実現する。

2. LTVRの仕様と回路構成

2.1 仕様

LTVRは、二次電圧設定と動作時限設定に従って自動的にタップ切換を行い、 $-5 \text{ V} \sim +15 \text{ V}$ の電圧調整を行う機器である。外観は30 kVA柱上変圧器と同程度、質量は10 kVA柱上変圧器と同程度である。

タップ切換の動作は、動作時限設定が小さく、二次電圧設定と配電線電圧の差が大きいくほど速くなる。例えば、動作時限が40 V・秒で、二次電圧設定と配電線電圧の差が12 Vの時、動作時間は、

$$\begin{aligned} \text{動作時間} &= \text{動作時限設定} \div \text{不感帯超過電圧} \\ &= 40 \text{ V} \cdot \text{秒} \div (12 \text{ V} - 4 \text{ V}^*) \quad \text{※} 4 \text{ V} : \text{不感帯} \\ &= 5 \text{ 秒} \end{aligned}$$

となる。

さらに、二次電圧と動作時限を適切に設定することで、LTVRを多段設置することができる。これにより、長距離に亘る低圧配電線の電圧調整も可能である。

LTVRの外観を図1に、仕様を表1に示す。



図1 LTVRの外観

表1 LTVRの仕様

項目	仕様
相数	単相
線路容量	10 kVA
定格一次電圧	200 V
定格二次電圧	215 V
調整電圧(タップ電圧)	-5 V 、 $\pm 0 \text{ V}$ 、 $+5 \text{ V}$ 、 $+10 \text{ V}$ 、 $+15 \text{ V}$
定格二次電流	46.5 A
冷却方式	乾式閉鎖自冷式(ANAN)
耐熱クラス	A
短絡強度	定格電流の25倍、2秒間
絶縁強度	LI 4 kV AC 2 kV
寸法	W520 mm × D440 mm × H730 mm
質量	85 kg
バランス容量	1 kVA
二次電圧設定	200 ~ 218 V (2 Vステップで整定可)
不感帯	$\pm 4 \text{ V}$ (固定)
動作時限設定 [*]	40 ~ 360 V・秒 (40 V・秒ステップで整定可)

※動作時限設定：タップ切換の動作時間の設定値

2.2 回路構成

LTVRは、直列変圧器、固定昇圧器、サイリスタ式タップ切換器および制御装置で構成される。その回路構成を図2に示す。特長は、固定昇圧器の分路巻線がバランスを兼ねていることや、サイリスタ式タップ切換制御を採用していることである。

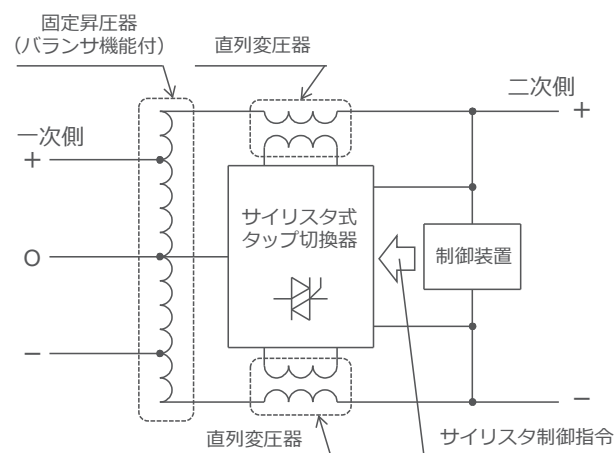


図2 LTVRの回路構成

※1 電力カンパニー システム開発センター パワエレ開発G 電圧調整器開発T
 ※2 電力カンパニー システム開発センター パワエレ開発G

3. LTVRの特長

(1) 電圧低下対策に重点を置いた電圧調整機能

LTVRは、電圧低下対策に重点を置き、 $-5\text{ V} \sim +15\text{ V}$ と、タップ電圧の昇圧幅を降圧幅よりも広くした。

電圧調整回路は、固定昇圧器と直列変圧器とで構成した。固定昇圧器で常に 5 V の昇圧を行い、直列変圧器で $\pm 10\text{ V}$ の電圧調整を行う。

また、固定昇圧器によって、停電復旧時にLTVRが電圧調整動作を開始するまでの間も、 5 V の昇圧が可能である。

なお、LTVRは 5 V の降圧も可能であるため、後述するように逆潮流時の電圧上昇を抑制できる。

(2) 切換回数制限がないタップ切換器

LTVRはサイリスタ式タップ切換器を採用している。半導体のサイリスタでタップ切換を行うため、機械式タップ切換器と異なり切換回数に制限が無い。電圧変動が頻繁に発生しても、電圧調整が可能である。また、タップ切換時に切換音が発生せず、静粛性が高い。

(3) 飛越タップ切換機能

LTVRは、最大4段の飛越タップ切換機能により、電圧変動時、数秒で最適なタップへ切換えられる。この機能が無い場合、最適なタップまで1タップずつ切換えることになり、電圧調整に時間がかかる。LTVRは、タップ電圧が 5 V なので、低圧配電線電圧と二次電圧設定の偏差に応じた最適なタップ切換段数は表2の通りとなる。

最短 $40\text{ V} \cdot \text{秒}$ の動作時限と飛越タップ切換機能により、LTVRは電圧変動の激しい場所でも適切に電圧調整を行うことができる。図3にLTVRの動作時限が $40 \cdot \text{V}$ 秒の場合のタップ切換動作特性を示す。

表2 電圧の偏差に応じた最適なタップ切換段数

偏差	最適なタップ切換段数
4 V (不感帯) $\sim 5\text{ V}+2.5\text{ V}$	1タップ
$10\text{ V} \pm 2.5\text{ V}$ 以内	2タップ
$15\text{ V} \pm 2.5\text{ V}$ 以内	3タップ
$20\text{ V} - 2.5\text{ V}$ 以上	4タップ

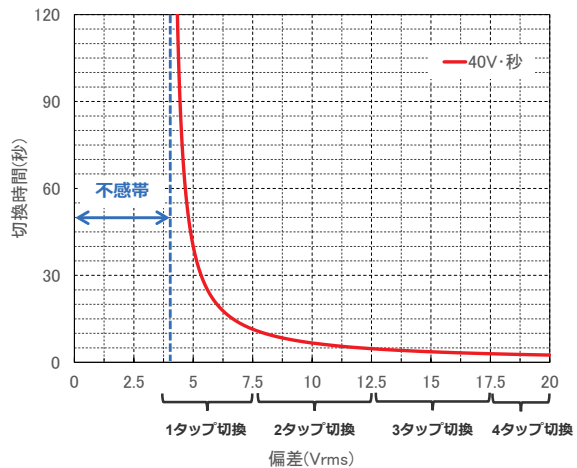


図3 LTVRのタップ切換動作特性

(4) 潮流方向の変化への対応

分散型電源(太陽光発電など)が系統に連系されると、これらの発電により、変電所から負荷方向へ向かう通常の潮流(以下、順潮流)とは逆向きの変電所方向に向かう潮流(以下、逆潮流)が発生する。順潮流時は、配電線の負荷方向に向かって電圧が降下するが、逆潮流時は、配電線の負荷方向に向かって電圧が上昇する。よって、逆潮流時に電圧を適正範囲に収めるには、電圧調整を降圧方向に行う必要がある。

LTVRは、潮流方向を検出し、適切な電圧調整を行うことができる。順潮流時には、二次電圧設定を目標にして電圧調整を行う。逆潮流時には、自動的に二次電圧設定を 200 V として、電圧調整を行う。このようにして、LTVRは、潮流方向の変化時にも、電圧が適正範囲から逸脱しないよう低圧配電線電圧を調整する。潮流方向の変化に対応した電圧調整の説明図を図4に示す。

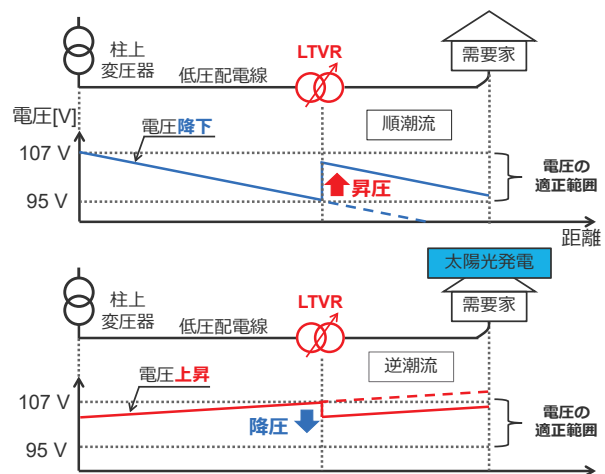


図4 潮流方向の変化に対応した電圧調整

(5) 電圧不平衡の改善

LTVRは、固定昇圧器にバランス機能を設けている。図2のLTVR一次側のO端子を、単相3線式低圧配電線路の中性線に接続することで、負荷の不平衡を2 kVAまで平衡化できる。

LTVRのO端子を、単相3線式低圧配電線路の中性線に接続しない場合、バランス機能は不使用となる。

(6) 直列変圧器の突入電流抑制

LTVRは、タップ切換により直列変圧器に印加する電圧を変えることで、低圧配電線路の電圧調整を行う。タップ切換時には、直列変圧器への印加電圧の大きさと位相が大きく変化し、磁気飽和を起こしやすい。LTVRは、直列変圧器への印加電圧に同期してタップ切換中のサイリスタ投入タイミングを最適化することで、直列変圧器の磁気飽和を防止している。これにより、サイリスタの大容量化や直列変圧器の大型化が不要となった。

4. 長距離低圧配電線でのLTVRの効果

LTVRの使用例としては、長距離に亘って低圧配電を行いたい箇所での電圧調整が挙げられる。その概要を図5に示す。

LTVRを設置した場合に、需要家に適正電圧での電力供給が可能な低圧配電線の亘長を計算した。LTVRを1台使った場合の計算モデルを図6に、計算結果を図7に示す。

計算上、定格負荷の時、LTVR1台あたり275 mの低圧配電線の亘長延長が可能である。

<計算条件>

- ・送端電圧 : 107 V
- ・需要家端の電圧 : 99 V*
- ・電線 : ASCR-OC(アルミ電線)、断面積 58 mm²
抵抗 0.512 Ω/km、リアクタンス 0.411 Ω/km
- ・負荷 : 低圧配電線の末端に 10 kVA
- ・LTVR1台の昇圧値 : 7.5 V(100 V系統換算)

※負荷の始動電流による電圧降下が4 V生じても、電圧が適正範囲内(101 ± 6 V)に収まる値とした。

<計算結果(定格電流、負荷の力率1)>

- ・LTVR無しの低圧配電線亘長 : 230 m
- ・LTVRを1台使った場合の低圧配電線亘長 : 505 m
- ・LTVRを2台使った場合の低圧配電線亘長 : 780 m

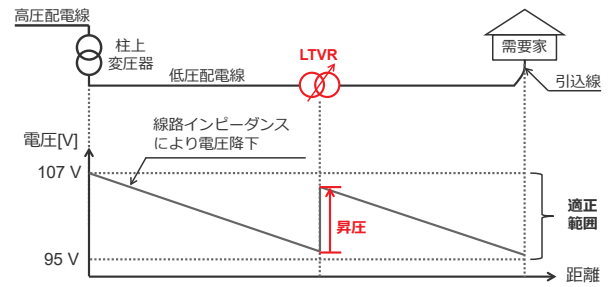


図5 LTVRを用いた低圧配電距離の延長

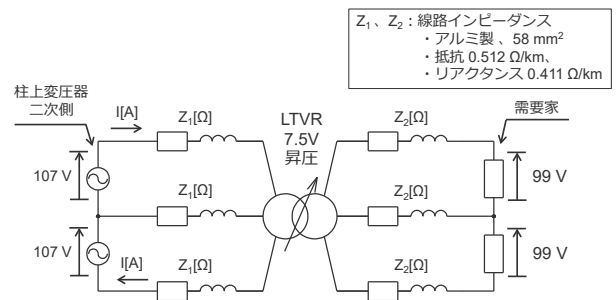


図6 LTVRを1台使った場合の計算モデル

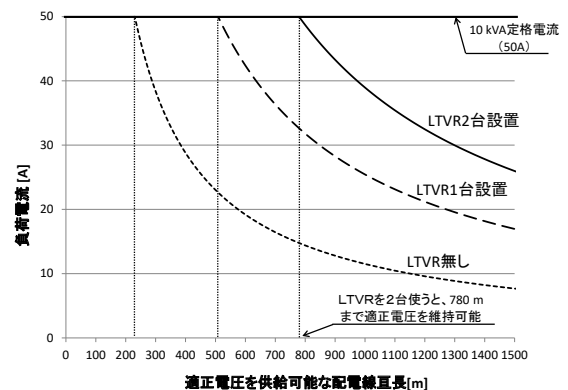


図7 計算結果

5. 電圧調整試験結果

LTVRを当社の次世代配電機器実証試験場⁽¹⁾に設置し、低圧配電線の電圧調整を測定した。

<試験条件>

- ・LTVRの二次電圧設定 : 200 V
- ・LTVRの動作時限設定 : 40 V・秒
- ・LTVRの入力電圧 : 30分毎に10 V昇圧又は降圧

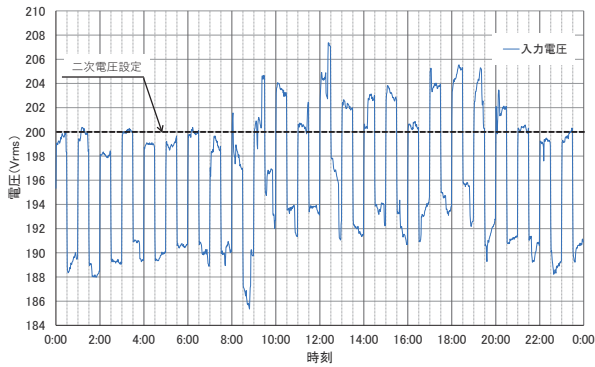
<試験結果>

測定結果の電圧波形を図8に示す。図8の(a)がLTVRの入力電圧、(b)が出力電圧の波形である。(a)と(b)を比較すると、入力電圧の変動に追従して、出力電圧が二

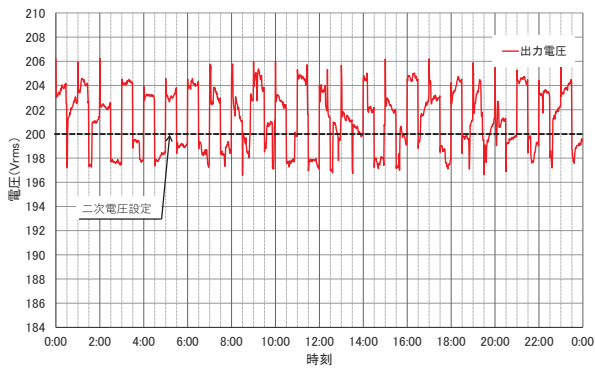
次電圧設定(200 V)の ± 5 V程度に収まるよう電圧調整を行っていることが分かる。二次電圧設定と配電線電圧の差は、次の通りであり、LTVRにより電圧を大きく改善できた。

入力側：平均5.1 V、最大14.7 V

出力側：平均2.4 V、最大6.2 V



(a) LTVR 入力電圧



(b) LTVR 出力電圧

図8 フィールド試験結果

6. まとめ

低圧配電線用の自動電圧調整器LTVRを開発した。LTVRは、「切換回数制限がない」、「電圧急変時にも数秒で電圧を調整できる」等の特長を持つ。

開発においては、固定昇圧器と直列変圧器を組み合わせることで、細やかなステップ電圧と昇圧に重点を置いた電圧調整を実現した。また、タップ切換時のサイリスタ投入タイミングの制御により、励磁突入電流を抑制した。

今後は、顧客のニーズに応え、コストダウンや改良を進めて行く。

参考文献

- (1) 「次世代配電機器実証試験場」愛知電機技報 No.33 (2012)