

運動方程式を用いた切換開閉器の 切換動作時間の計算

1. はじめに

負荷時タップ切換変圧器LRT：Load Ratio control Transformer(以下、LRT)は二次電圧が一定になるように自動でタップを切り換える装置である。この電圧の調整に負荷時タップ切換器LTC：on Load Tap Changer(以下、LTC)が使用されている。

今回、運動方程式を用いた計算のパラメータの一つに絶縁油の動粘度を組み込んだことで、LRTの負荷率による温度変化や、寒冷地でのコールドスタートによって絶縁油の動粘度が変動した場合の切換動作時間の計算を設計段階で行えるようになったので報告する。

2. LTCの概要

LTCの構成を図1に示す。LTCは変圧器の運転するタップを選択するタップ選択器と、選ばれたタップに回路を切り換える切換開閉器室から構成される。切換開閉器室には切換開閉器と絶縁油が入っており、タップ選択器を含んだLTC全体としてLRTの内部(絶縁油中)に入っている。

切換開閉器(図2)は蓄勢ばねの力を開放することで高速切換を行う。解放された力は切換開閉器の動作機構(溝カム、真空バルブ、接触子A、接触子B)の動作に使用される。

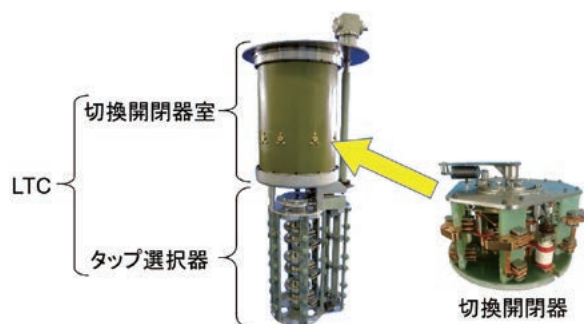


図1 LTCの構成

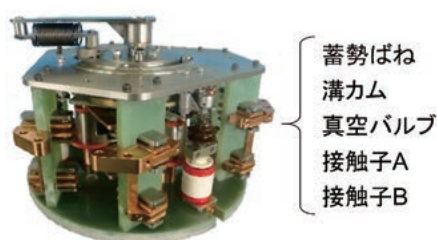


図2 切換開閉器の動作機構

3. 切換動作時間の計算

3.1 動作機構のモデル化

溝カムの回転角度を基準とした角度(以下、タップ切換角度)に対する切換動作時間の関係式を立てるため、切換開閉器の動作機構をモデル化した。一例として蓄勢ばね動作のモデルを図3に示す。タップ切換角度から、蓄勢ばね端部の回転軌道(以下、回転軌道)の接線と蓄勢ばねのなす角を求める。これを使用し、タップ切換角度の関数として接線方向のトルクを求める。

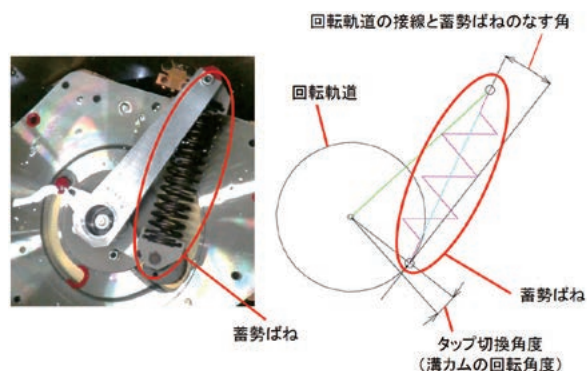


図3 蓄勢ばね動作のモデル

3.2 切換動作の分類

本計算では、系内の慣性モーメントが一定であることを前提条件として回転運動の運動方程式を立てる。タップ切換角度が変化する間の切換開閉器の部品の動作を表1の通り分類し、ステップ毎に運動方程式を解くことにより、蓄勢ばね解放後の時間に対するタップ切換角度を求めることができる。また、絶縁油の動粘度の影響を加味するため、式中に減衰定数を組み込んだ。

一例として、ステップ5の運動方程式を以下に示す。

$$T = I \frac{d^2\theta}{dt^2} + c \frac{d\theta}{dt} + T'$$

ここに、 T : 蓄勢ばねによる駆動トルク [N・m]
 T' : 接触子などによる負荷トルク [N・m]
 I : 慣性モーメント [kg・m²]
 c : 減衰定数 [N・m・s/rad]
 θ : タップ切換角度 [rad]
 t : 時間 [s]

4. 計算結果

蓄勢ばね解放後の時間に対するタップ切換角度を図4、5に示す。計算結果と実測値が近いことを確認できた。これにより、絶縁油の動粘度が変化した際の切換動作時間、速度を計算することができるといえる。

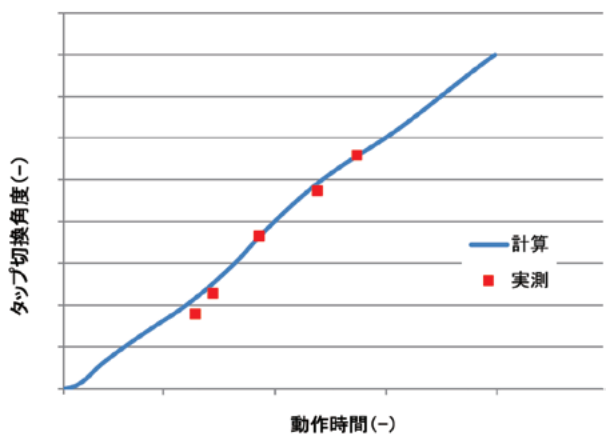


図4 蓄勢ばね解放後の時間に対するタップ切換角度 (動粘度パターン1)

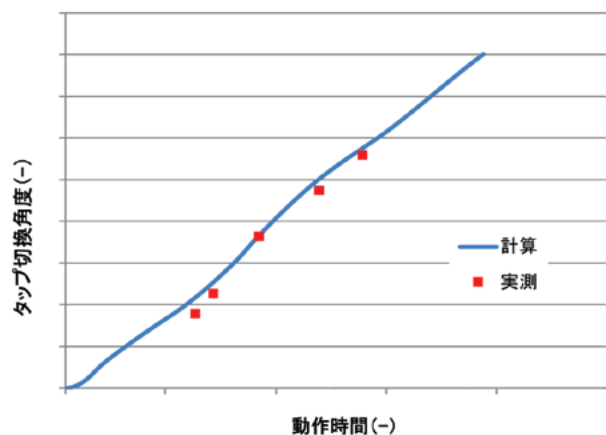


図5 蓄勢ばね解放後の時間に対するタップ切換角度 (動粘度パターン2)

5. まとめ

今回、運動方程式を用いた計算のパラメータの一つに絶縁油の動粘度を組み込んだことで、絶縁油の動粘度が変化した場合の切換動作時間、速度の計算ができるようになった。これにより、LRTの負荷率による温度変化や、寒冷地でのコールドスタートによって絶縁油の動粘度が変動した場合の切換動作時間の計算を設計段階で行えるようになった。

一方、今回の計算では主要な可動部品のみを考慮しており、可動部品同士の連結部品など、考慮しきれなかった部分もある。これらを式に盛り込み、計算の精度をより向上させていく所存である。

今後も今回の経験を生かして、当該製品の設計最適化や他製品の設計に役立てたい。

表1 切換動作の分類

○ : 動作有

ステップ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
蓄勢ばね	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
溝カム	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
真空バルブ				○	○	○						○	○	○	
接触子A		○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○		
接触子B		○			○	○	○		○		○	○	○		