

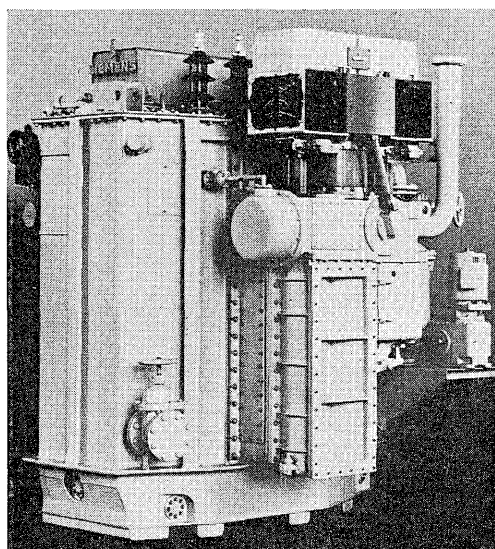
D → 最近のドイツ技術

交流電気車用サイリスタ負荷スイッチ付タップ切換器

Tap Changer with Thyristor Load-Transfer Switch for AC Locomotives and Cars

交流電気車では、電力は架線からパンタグラフを経て車両用の変圧器から電動機へと伝達するが、このとき電圧を調整するため変圧器のタップを負荷時に切り換えることが一般に行なわれている。従来負荷時タップ切換器には一般に電力用として油中で使用されている発条式負荷スイッチを気中式に改め、強力な発条作用を有する切換接点が短時間に限流抵抗を利用して負荷電流をあるタップから次のタップへと切り換えていた。

交流電気車の電動機電圧を広範囲にわたって変圧器の高圧巻線側で制御する負荷時タップ切換器では、タップ切換回数が年に数百万回という高い切換ひん度とタップ選択器の動作を含め0.5秒という非常に短い切換時間の要求を満足させなければならない。タップ選択器の接点の摩耗の問題はロール式接点を採用することで解決され、長期にわたって使用することが可能となったが、気中で動作する発条式負荷スイッチは接点の交換を行わずに200~300万回しか切換動作を行なうことができない。車両用変圧器に従来のタップ切換器を装置した場合には、ロール接点式タップ選択器が接点の交換を行わずして数年間運転を続けることは可能であっても、負荷スイッチにまでこれを行なうことは不可能であった。



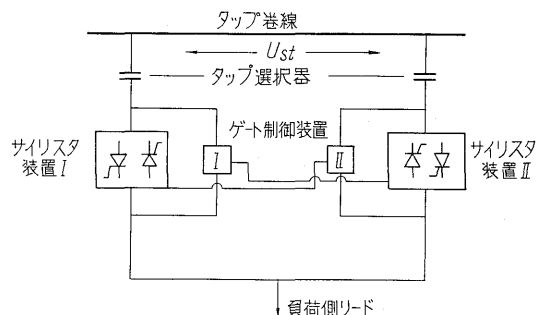
第1図 E10, E40形交流電気機関車用変圧器に取り付けられた平形タップ選択器付サイリスタ式負荷切換器

Fig. 1. Tap changer with Thyristor load-transfer switch for E10 and E40 AC locomotive's transformer

最近のサイリスタ（シリコン制御整流素子）のめざましい発達はこの新しい負荷スイッチに摩耗のないスイッチ素子として使用できるまでになり、従来の発条式スイッチにとってかわるまでになった。第1図は車両用変圧器にサイリスタ式負荷スイッチを取り付けたものである。この新しいスイッチ素子を使用したタップ切換方式ではタップ切換に際し、限流抵抗や限流リアクトルを必要としなくなった。従来のたとえば抵抗式切換においては切換電流と再起電圧によって算出されるしゃ断容量がタップ間容量の少なくとも4倍となる条件を満足する限流抵抗を使用していた。機械的なスイッチはその切換機構上限流抵抗とか限流リアクトルの使用が不可避であるが、サイリスタ式スイッチは切換動作が高速でかつ正確であるため、しゃ断容量は最低値であるタップ間容量と同じにすることができる。

第2図はサイリスタ式負荷スイッチの基本回路図を示し、まずこの図の説明からはじめる。タップ巻線の隣接する二つのタップにおのおのタップ選択器があり、これに二つあるいは負荷容量に応じて、それ以上のサイリスタを逆並列に接続した装置が接続されている。このサイリスタ装置の端子と並列にゲート制御装置の入力側がそれぞれ接続され、一方のタップ選択器側のサイリスタ装置と並列に入力を接続したゲート制御装置の出力は、他方のタップ選択器側に接続されたサイリスタ装置の制御入力となっている。

第2図において左側のタップ選択器とサイリスタ装置Ⅰが最初負荷電流を通過しているとして、右側タップへ負荷を切り換える場合について説明すると、まだタップ



第2図 サイリスタ式負荷切換器の基本回路図

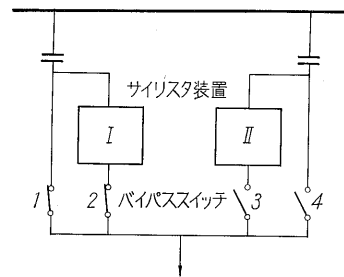
Fig. 2. Fundamental-circuit of Thyristor load-transfer switch

切換動作に入らない時には、タップ間電圧は通流を阻止しているサイリスタ装置Ⅱならびにゲート制御装置Ⅱの入力端子に印加されている。このゲート制御装置Ⅱの出力は通流しているサイリスタ装置Ⅰのサイリスタをタンオンさせ通流を継続させる。ゲート制御装置Ⅰの入力端子電圧はサイリスタ装置Ⅰが通流しているためほぼ零に等しく、したがって出力も零である。

タップ切換動作はまず最初にサイリスタ装置Ⅰの通流を阻止するために、ゲート制御装置Ⅱの出力を止めることから始まる。すると今まで通流していたサイリスタは負荷電流の零通過点でもって阻止能力回復作用を再開する。サイリスタ装置Ⅱが点弧するまえに、装置Ⅰのサイリスタは逆方向特性を完全に回復していなければならない。この回復に要する時間はサイリスタの種類にもよるが 50 から 100 μ s 位である。電流はこのように短い期間とぎれても負荷にはほとんど影響ない。ゲート制御装置はその入力に電圧が印加されれば、負荷電流の零点通過後、短時間のうちに次のサイクルを通流させることができる。このタップ切換器ではゲート制御装置Ⅰは入力に回路電圧が印加されはじめて装置Ⅰのサイリスタが阻止能力を回復するに要する 50~100 μ s のあとにサイリスタ装置Ⅱをタンオンさせる。するとサイリスタ装置Ⅰとゲート制御装置Ⅰの入力端子にはタップ間電圧が印加され、サイリスタ装置Ⅱの通流を継続させることが可能となる。

この負荷電流の零点で負荷を切り換える制御装置には小形化された増幅器が使用されている。またこの装置は高電圧にさらされ、変圧器の近くに設置されるのでサージなどの擾乱に対して充分なる考慮がはらわれている。制御装置はタップ位置によって変化する大地電位、タップ間電圧の変化、負荷電流の大幅な変化など諸々の変動に対して充分安定した動作ができるように考慮がはらわれている。

サイリスタの電流負担責務を軽減させるために、この新しいタップ切換器ではタップ切換動作が行なわれるときのみ、サイリスタ装置を回路にそう入する方法がとられている。第 3 図はバイパススイッチをサイリスタ装置に付属させたタップ切換器を示し、バイパススイッチは負荷電流のしゃ断をしないので小形の接点を使用している。装置ⅠよりⅡへとタップ切換をする場合、まず第 3 図の状態から接点 3 を閉じて、接点 1 を開く。この状態はすでに第 2 図で示したのと同じであり、ⅠよりⅡへのタップ切換は前述のようにして行なわれる。切換が終わったならば、接点 4 を閉にし、接点 2 を開とする。この



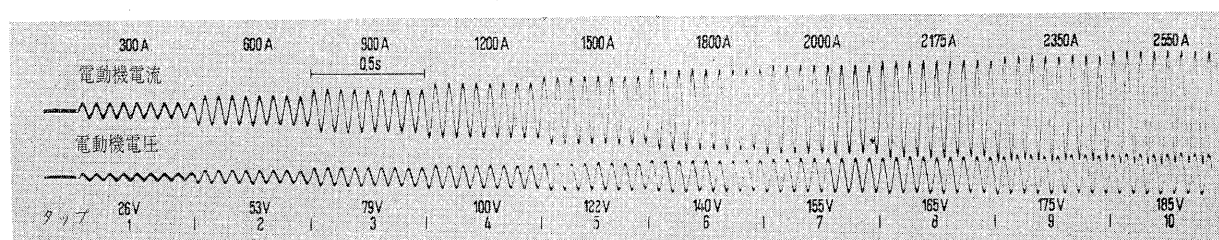
第 3 図
バイパススイッチの
結線図

Fig. 3.
Connection diagram
of by-pass switch

ような切換を行なえば、サイリスタは負荷電流をわずかな数サイクルのみ通流しサイリスタの温度はほとんど上昇しない。またタップ切換時以外のサイリスタが通流していない列車走行時におこる瞬間の過電流とか、電動機の整流子のフラッシュオーバーなどによる事故電流はサイリスタに影響を与えない。しかしサイリスタを高電圧にさらして使用するために、高度の技術的な信頼性を与えることと、連続して切り換えることも考慮してこの装置には大容量のサイリスタを使用している。

このタップ切換器の保護装置は設計上もっとも注意を払ったところで、サイリスタは高速度ヒューズで保護されている。このヒューズに中電圧用のものを使用して高電圧回路の負荷しゃ断も可能にするためヒューズと並列に、限流用抵抗と変流器の直列回路を接続してある。たとえばいま何らかの原因でタップ間短絡が起きたとすると、ヒューズが短絡電流をしゃ断し、タップ間電圧がヒューズの極間に印加されるが、この電圧が並列に接続されている限流抵抗に電流を流し、これを変流器で検出して車両用変圧器の入力側に置かれた回路しゃ断器を動作させる。この保護方式は油中で動作するタップ選択器をも保護することができる。従来のタップ切換器では負荷スイッチが負荷電流を切りそこなうと、たいていの場合タップ選択器が負荷電流をしゃ断することになり、ここが損傷して油の噴出などを起こし事故に発展するケースがあった。

第 1 図はドイツ国鉄交流電気機関車 E10 および E40 用変圧器に取り付けられているサイリスタ式負荷スイッチと、平形タップ選択器で構成された 28 タップの電圧調整をするタップ切換器を示す。平形油入式タップ選択器箱の上に絶縁円筒を介してサイリスタ式負荷スイッチ装置が取り付けられている。その中央部には絶縁軸で操作されるバイパススイッチがあり、その両側にサイリスタが取り付けられ、それらの上にゲート制御装置がのっている。架線電圧は定格 15kV であるが、列車運転時における電圧降下も考慮して、電圧変動範囲は 18kV から 10kV までとなっており、タップ間電圧の最低は 230V、



第4図 E10 形交流電気機関車の始動時における電動機電圧・電流の測定オシログラム

Fig. 4. Measured voltage and current of traction motor at starting by AC locomotive E10

最高は 912V である。ゲート制御装置はこのような広範囲の電圧変動にも問題なく動作するように設計されている。サイリスタの直列枚数はもちろん最高のタップ間電圧によってきまり、N 0360 形素子が 3 個直列に使用されている。列車運転時の電動機最大入力電流はおおよそ $4 \times 3,600\text{A}$ であり、これはタップ切換器の負荷電流に換算すると 520A となる。この電流を連続して流してもサイリスタは温度上昇限界を越えない。

第4図は交流電気機関車 E10 の運転時に電動機の電圧、電流を測定した電磁オシロを示し、これでもわかるように電圧の低いところでは 1 タップ切り換えると、相当大きな電圧変化を示している。また負荷電流の零通過点で、タップが切り換えられている状態もこのオシロから確かめることができる。このようにしてタップ切換を行なうと列車が加速中に段階的に変化する電圧によってうける衝撃的な加速力をほとんど感じないほど、なめらかな加速を行なうことができる。従来の機械的な負荷スイッチを使用した場合にはタップ切換時そう入する限流抵抗が加速時の大電流で事故を起こすことがあったが、サイリスタ方式ではこういうことは考慮外である。また一般に電気車の電動機回路は誘導性であるため、従来の機械的な方式ではタップ切換に際して、負荷電流の零通

過点で必ずそれが行なわれるとはかぎらないので、負荷が電源から切れて再投入される時、投入電流に直流分を含むこともあり、これが電動機のトルクを一瞬増大させてあたかも非常に段飛びの大きいタップを切換えたように衝撃的な加速力を感じさせる原因となっていた。サイリスタ式負荷スイッチでは必ず負荷電流の零点でもって次のタップへの切換が行なわれるので、このような衝撃的な加速力を感じる事がなく、列車の始動時になめらかな加速を行なうことができる。

1964 年の 3 月から E10 形および E40 形交流電気機関車 5 両において、このサイリスタ式タップ切換器が採用され運転にはいっている。これの運転実績がよいので、1965 年中にさちに 37 台のサイリスタ式タップ切換器が取り付けられることになっている。現在ドイツ国鉄では時速 200 km/h の速度をもつ新しい交流電気機関車 E03 形を 4 台製作中であるが、これも調整タップ数 39、切換電流 750A のサイリスタ式タップ切換器が装備されることになっている。

原著者：Werner Stein：Stufenschalter mit Thyristorlastumschalter für Wechselstrom-Triebfahrzeuge
Siemens-Z. 39 (1965) Heft 4, S. 269/271

抄訳者：千葉工場 岡野 修



＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。