

# 電圧不平衡補償装置

兎束 哲夫 (電力技術研究部 き電 主任研究員)

## 三相交流と単相交流

電力会社の送電線は、太い電線3本で一組になっています。これを三相交流と呼び、電力を最も効率よく発電して送電することが出来る方法です。これに対して、新幹線に代表される交流電気鉄道では、家庭用100Vコンセントと同様に、架線とレールの二本の電線で送る単相交流を使っています。

## 本線区間での電力供給

き電用変電所では電力会社から三相交流を受け取り、単相交流を作って電車に供給します。日本のき電用変電所では、図1に示すスコット結線変圧器または変形ウッドブリッジ結線変圧器を用いて、三相交流を二組の単相交流に変換し、上り方面と下り方面にそれぞれ供給する例が多くなっています。

スコット結線変圧器のき電回路側で使う二つの単相交流電力をM座 (Main phase) とT座 (Teaser) と呼んでおり、M座電力とT座電力がやじるべえのように釣り合っていれば、三相交流側もバランスが保たれます。M座電力とT座電力は直接接続することはできないので、列車は一時的に惰行走行して変電所前で電力を切り替えて走っていく仕組みです。

ここでM座電力とT座電力が釣り合わなかった場合、三相交流側のバランスが崩れるために、三相交流側で特定の相間電圧が大きく変動してしまうことがあります。電力会社の三相交流側には鉄道以外の工場や家庭などの他の需要家がありますから、鉄道側は電力会社と協議して、三相電圧変動率を一定以下に収めるよう取り決める場合があります。

なお電力会社の発送電系統は決して一様ではなく、発電所が近く電源が強い地域と、発電所から遠い弱電源地域が

あります。同じ容量の交流電気鉄道負荷であっても、電源系統が強い地域では電圧変動が小さくなり、弱電源地域では与える影響度が大きくなります。

## 車両基地への電力供給

一方、車両基地では夜間にも車両保守作業や入換作業があるために、本線が夜間に停電していても基地構内に電力を供給する必要があります。また構内の電線路の対置が複雑であり、車両は低速で走行するため、本線区間のような惰行を利用したM座とT座の電力切替は困難です。したがって、車両基地全体を一つの電力として扱う方が便利です。

そのため、車両基地専用の変電所を設ける場合には、三相で受け取った電力を一つの単相電力に変換します。ただし、き電用変圧器による三相単相変換では、三相側から見たバランスが悪く、どのような結線を行っても三相側は決してバランスしないことが解析的に証明されています。

このような車両基地等の単相き電時の三相側バランス対策として、不等辺スコット結線変圧器があります (図2)。これは、スコット結線変圧器のM座電力とT座電力を合成し、斜辺 (Slant PhaseからS座と呼びます) から電力を取り出しています。

この際に、車両電力の力率に合わせてM座電力とT座電力の分担比をあらかじめ調整することで、三相側バランスの乱れを小さくしています。これが「不等辺」の由来です。以前主力だったサイリスタ位相制御車両では、T座側電圧を高く設定して斜辺との角度 (スコット角) を30度とします。現在の主流であるPWM制御車両ではスコット角を45度に設定し、M座とT座の比率を1:1にします。

また、負荷力行時にはM座に進み無効電力、T座に遅れ無効電力が発生します。そこで、M座側にはリアクトル、

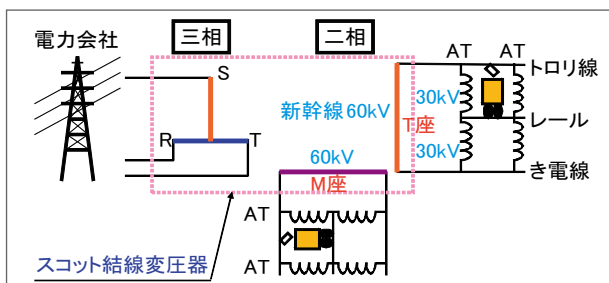


図1 スコット結線変圧器

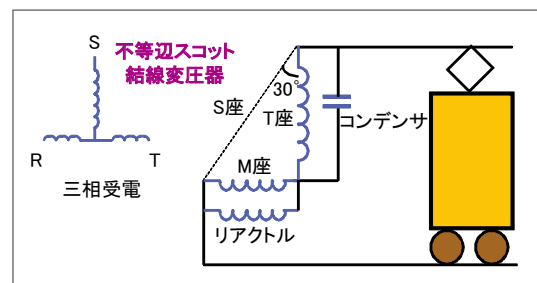


図2 不等辺スコット結線変圧器 (コンデンサ・リアクトル付加)

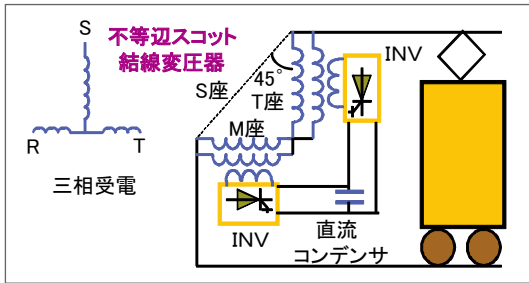


図3 不平衡補償単相き電装置 (SFC)

T座側にはコンデンサを付加することによって、車両負荷電力による三相側バランスの乱れを補償することが可能です。

この不等辺スコット結線変圧器は仙台・新潟・長野・川内の各新幹線車両基地等で使われています。また、比較的負荷容量の小さい阿武隈急行鉄道や仙台空港鉄道では、本線き電に用いられています。

### 不平衡補償単相き電装置 (SFC)

弱電源地域で強力な車両負荷をき電する場合、不等辺スコット結線変圧器とリアクトル・コンデンサだけでは、三相側電圧変動を補償しきれなくなってしまう場合があります。

そこで、不等辺スコット結線変圧器のM座・T座に自励式電力変換器をそれぞれ接続し、可変容量のリアクトル・コンデンサとして動作させると共に、有効電力をM座・T座間で積極的に融通してバランスをとる装置が開発されました。2台の自励式電力変換器は、それぞれ接続されたM座とT座に対して相互に有効電力および無効電力をやりとりできます。これを、不平衡補償単相き電装置 (SFC : Single phase Feeding power Conditioner) と呼んでいます (図3)。

SFCは常にM座とT座のき電回路の有効電力を比較します。そして、自励式電力変換器を制御して大きい方から小さい方へと有効電力を融通し、き電用変圧器でM座とT座の有効電力が均等になるようにします。一方で、き電回路に無効電力が必要な場合には、やはり自励式電力変換器から供給します。これによってき電回路のバランスをとり、三相側の不平衡補償と電圧変動補償が実現できるのです。

### 北陸(長野)新幹線での実用化

日本鉄道建設公団 (現、鉄道建設・運輸施設整備支援機構) によって北陸(長野)新幹線の高崎・長野間が建設され、1997年11月に開業しました。この際、長野駅北方に長野車両基地変電所が設けられました。

ここでは、近傍に強力な電源が無かったため、新幹線車

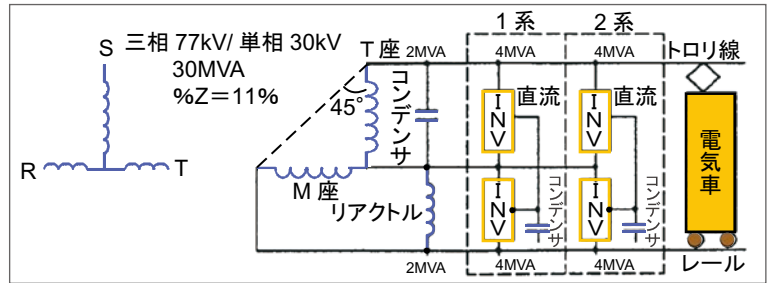


図4 長野車両基地変電所 SFC 構成

両負荷による電圧変動が予測されていました。

特に、長野オリンピック開催中は新幹線が多数の観客輸送を担うことから、影響が大きくなる懸念がありました。

そこで変電所にSFC

を設置することで、電圧変動対策としました。



図5 長野車両基地変電所 SFC

### 長野車両基地変電所 SFC

長野車両基地変電所のSFCは、車両基地内の最大電力を確保し、しかも三相電圧変動率の電力会社規制を満たすために必要な、最小限度の装置容量として総容量20MVAを確保しました。主な負荷はPWM制御車両なので、スコット角は45度です。M座側に固定容量リアクトル2MVA、T座側に固定容量コンデンサ2MVAを併用して電力変換器容量を節減し、単機容量4MVAの自励式電力変換器を2セットずつM座とT座に接続した構成です。自励式電力変換器の主回路には、GTO素子が使われています。SFCの主回路構成を図4に、外観を図5に示します。

開業前のSFCフィールド機能試験で、電圧変動の抑制機能は実証されています。また、実際のき電回路で起こりうる地絡事故や突入電流等の様々な突発的な現象を人工的に再現し、SFCが異常動作を起こさないことも確認しています。

### おわりに

このように、今後、大きな電圧変動が予測される弱電源地域に車両基地を建設する場合の手段として、変電所へのSFC設置が有効な電圧変動対策となり得ることが確認されました。

最後に、本装置の開発と実用化においてご指導、ご協力いただいた多くの関係者の皆様に深く感謝いたします。