

新しいX線発生装置

A new roentgen generator

Clyde Snook*. *Arch Roent Ray* 13:186-8, 1908

この新しいX線発生装置は、筆者が1902年に開始した誘導コイルの系統的な研究の最終結果として生まれたものである。

X線用誘導コイルの改良に取り組んできた研究者たちの主な目標として、2つの点が挙げられる。その第1は逆放電の完全な抑制あるいは除去、第2は利用可能な二次電流を上限なく、副作用なく増加させることである。

この新しい装置はこれをいづれも満たすもので、逆放電が皆無で、とり出せる電気エネルギーは事実上無制限である。

この装置を使えば、X線管に数kWのエネルギー入力を供給することも比較的容易であり、X線管内の電流に逆流成分は存在しない。

Journal of Franklin Institute 誌1907年10月号の論文で筆者は、水銀ジェット式断続器とともに同期直列スパークギャップ (synchronous series spark-gap) で、誘導コイルの二次回路をONで開き、OFFで閉じる方法を報告した。この断続器に同期したスパークギャップの動作は、X線管球に「直接」二次スパークを発生させるが、ONの時の逆電流を防止する。しかし断続器の接点におけるアーク防止用コンデンサーの振動のため、X線管球の逆電流を完全には阻止できない。この同期直列スパークギャップはコンデンサーを備えたある種の機械的断続器でのみ使用可能で、電解式断続器では使用できないことから、この目的のために新たな装置を開発する必要性が生じる。

二次回路の直列スパークギャップを同期し、断続器ON時の逆流を防ぐために、コンデンサーなしに大電流を遮断する機械的断続器がいくつか知られている。これらにおいては、コンデンサーによる逆電流は生じない。

通常の誘導コイル、ならびに閉磁路式変圧器 (closed magnetic circuit transformer) をこの方法で試験したところ、ON時の二次スパークが、特に閉磁路式変圧器の場合、OFF時よりもはるかに大きいことが分った。この現象は、閉磁路の鉄芯がON時の電流によって発生する磁束と反対方向に磁化されている場合に特に顕著であった。これはもちろん鉄芯のヒステレシスによるもので、ヒステレシスはよく理解されているとはいえ、実際には著しくばらつきがあり予測は難しい。

同期直列スパークギャップの位相を180度シフトし、二次電流をOFF時ではなくON時に利用できるようにする。二次電圧はON時よりOFF時に高いので、二次回路をOFF時にショートさせるか、あるいはこの電圧を二次側の転極スイッチ (pole-changing switch) で利用する必要がある。このいずれの方法も試みたところ、比較的良好的な結果を得た。しかし、断続器の使用、ならびに磁気サイクルの不良のため、得られる電流には限界がある。

そこで、閉磁路式変圧器の鉄芯をON時に一方向に、ついでOFF時に反対方向に磁化するような転極断続器を設計、製作した。この転極断続器 (pole-changing interrupter) とともに、二次回路に高圧転極スイッチを使用した。このように転極スイッチを一次側、二次側の双方に使用することにより、逆電流のない真に単方向性の二次電流が得られる。しかし、その出力は断続器の電流断続力によって制限される。

この方式を慎重に研究した結果、真の交流を使う場合と等価の磁気サイクルが鉄芯に生ずることが分った。

交流波形はできる限り正弦波に近いものとした。これには幾つかの理由があるが、その一つは不安定な断続器を完全に廃して、信頼性の高い標準的な発電機を使用できることである。

現状の最終的な構成は、交流発電機 (alternating current dynamo) あるいは逆回転変流機 (inverted rotary converter) から低圧一次電流を閉磁路式変圧器に供給する方式である [→訳注]。変圧器はその高圧二次電流を整流スイッチに送るが、この整流スイッチは一次交流電流を発生する発電機あるいは変流機に機械的に接続されている。この発電機と整流スイッチの「機械的な」連結が、本装置の最大の特徴である。X線撮影用の高圧交流を整流するこの他の方法も試みたが、整流スイッチの同期モーターによる駆動が一因となって失敗に終わった。

交流波形を完全に一定に保つことは事実上不可能なので、整流スイッチと電源の機械的連結によって同期モーターを完全に同期させることはできない。

直流配電線を電源とする場合、逆回転変流機を使用する。これは交流を、一次コイル巻き数と変換率を調整するレオスタットと選択スイッチを介して、変圧器の一次側に送る方法である。

交流配電線を電源とする場合、適当な誘導モーターを

* Associate Member, Philadelphia

使い、遊動輪をもつ垂直ベルトドライブによって、自己誘導単相交流発電機を機械的に駆動する。これは、電流を変圧器に送り、機械的に整流スイッチに連結しているものである。直流電源を使用する場合と同じく、変圧器の一次側回路には、変圧率を制御するレオスタットと電圧選択スイッチがある。

この電圧選択スイッチは5段階あり、二次電圧を最大12万ボルトから最小7万ボルトまで変えることができる。

変圧器は油浸された閉磁路内鉄型 (closed magnetic circuit core type) である。この構成の最も重要な特徴は、変圧器の磁場漏洩が最小限に抑えられていることである。

電気回路では次の式が成り立つことが知られている。

$$\tan \theta = \frac{Lp - \frac{1}{Cp}}{r}$$

ここで回路が相互誘導コイルで連結されている場合、自己誘導と静電容量が二次回路に局在していれば、もう一つの回路は

$$\tan \theta_2 = \frac{L_2p - \frac{1}{C_2p}}{R_2 + r_2}$$

X線管球、整流スイッチ、二次変圧器を含む回路では、管球をつなぐ電線の誘導リアクタンス、変圧器二次側コイルの漏洩リアクタンス、管球電極とスイッチの容量リアクタンスが存在する。二次側コイルには無視し得ない程度の静電容量がある。

これらのリアクタンスを調べた結果、変圧器二次側の誘導漏洩リアクタンスが最も大きく、これは回路のリアクタンスの性質によるものであることが判明した。従って、このような高圧で動作する内鉄型変圧器では、この漏洩リアクタンスを最小限に抑えるために、磁気回路の磁束密度はできる限り小さくし、磁束自体はできるだけ大きくする必要がある。

局在性の自己誘導と静電容量をもつ回路における振動周波数は、

$$n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$$

$$R \neq \sqrt{\frac{4}{c}} \quad \text{or} \quad R > \sqrt{\frac{4L}{c}}$$

この振動は、回路の抵抗がこれを緩衝できるほど十分大きくなければ、相応の逆電流の原因となる。変圧器二次側の抵抗だけではこの目的には不十分である。しかし、同期整流スイッチは同期して変動する抵抗を発生するので、これが管球と二次回路の静電容量に起因する一次側、二次側回路の誘導リアクタンスによって発生する振動を効果的に緩衝する。

以上のような装置を、X線管球への供給電力に応じて1～4kWのものを製作した。

X線管球にこのような高速で電気エネルギーを供給できることから、過去数年にわたって一部のアメリカの研究者は、非常に高速な撮影を可能としてきた。

この新しいX線発生装置の特徴は、以下のように要約できる。

1. 逆電流を発生しない。
2. 大容量の設計が可能で、現状のX線管球の耐容量を超えるようなエネルギーを供給できる。
3. 断続器は不要である。
4. 消耗したり調整が必要な部品がない。
5. 誘導コイルに比較して有意の外部磁場をもたない
6. いかなる誘導コイルを直流で使用するよりも交流ではるかに優れた動作をするので、いかなる電流でも良好に動作する。
7. 出力する電流は、1mAから最大出力まで自由に調整できる。

【訳注】

・ dynamo. 現在では、回転整流子の機構によって交流から直流を得る整流子発電機を意味するが、ここでは交流発電機を意味しており、現在でいうオルタネータ (alternator) に近いものである。

・ rotary converter (変流機). 一般には交流を直流に変換したり、交流の周波数を変換する回転装置。ここでは直流を交流に変換する装置 (inverted) を意味している。