最近の変電機器の低振動，低騒音化技術

解説

キーワード

変圧器，開閉機器，変電機器，低騒音，低振動

正員 堀 康 郎

(株)日立製作所

1. まえがき

変電機器は年々，大容量，大型化を辿っており，大都市の電力需要の増加により，変電所も都市周辺，あるいは人口密集地帯に設置されることが多くなり，変電機器に対する低騒音化の要求が厳しくなっている。変電所の機器の中では連続音である変圧器，リアクトルの騒音が問題となり，各種の低騒音化対策が講じられてきている。一方，遮断器は開閉時に振動，騒音が出るが，間欠音で，かつ発生頻度が1日に数回程度と少ないため，過去の空気遮断器のころを除くと，変圧器のような大掛かりな対策はとられていない。しかし，系統規模の拡大とともに，遮断容量が増加し，操作力が大きくなるため，今後低騒音，低振動化が必要になるのではないかと考えられる。

ここでは，変電機器の低振動，低騒音化の歩みと，最近の技術を紹介するとともに，地下変電所，直流変換機器などをにらんだ今後の技術の動向についても述べる。

2. 変電機器の振動，騒音の歩みと課題

2.1 変圧器の低騒音化の歩み

変圧器の騒音が問題として取り上げられるようになったのは昭和30年ごろからで，この頃，同時に進んでいた変圧器の高電圧，大容量化とも関係している。けい素鋼鉄の磁気ひずみの低減，鉄心の構成の改良，防音方式の開発な

どにより，低騒音化が行われている。図1に鉄損と騒音の変遷を示す⁽¹⁾。20年間で騒音が約20 dB減少し，鉄損が40%になっている。

2.2 遮断器の低振動，低騒音化の歩み

ABB（空気吹消遮断器）は1945年から始まり，昭和30年から40年代の前半まで広く使用された。しかし，ABBから排気される空気による騒音が大きく，100 dB以上になるものもあった。空気の出口に消音器を設けたり，排出空気を一端タンクにためて徐々に排出する方策がとられた^{(2),(3)}。その後，昭和45年ごろからSF₆ガスを用いたGCB，GIS（ガス絶縁開閉装置）が実用化されはじめた。空気に比べて優れた消弧性能，冷却性能により，ずっと見積って10 dB程度騒音が低下した。当初は操作力として空気圧を用いており，この空気の排気音が大きかった。騒音と空気源の保守の面倒さから，しだいに油圧操作，ばね操作へと移っており，空気操作から油圧操作で約10 dBの騒音低減となり，現在の油圧操作のGCBはABBにくらべ20 dB程度騒音が低くなっている。GCBの騒音は間欠音で発生頻度も少ないことから，現状はあまり問題にはなっていないが，操作時の振動がほかの機器，建物などに伝播する問題はあり，対策が行われている。

図1 鉄心材料，構造などの改善による鉄損と騒音の変遷

Recent Vibration and Noise Reduction Technologies of Substation Equipments
By Yasuro Hori, Member (Hitachi, Ltd.)

3. 低振動，低騒音化技術

3.1 変圧器，リアクトル

変圧器騒音の主要原因はけい素鋼板の磁気ひずみによる鉄心の振動でタンクに伝達して騒音として放射される。ほかに冷却用のファン，ポンプなどの騒音が加わる。変圧器騒音は変電所内の建物，ほかの機器に反射したり，回折したりしながら，変電所の周辺に伝播する。

(1) けい素鋼板の磁気ひずみ

磁気ひずみは一般に磁束方向に圧縮力を加えると増加し，張力を加えると減少する性質があり，冷間圧延の方向性けい素鋼板では鋼板表面をガラスコーティングすることにより圧延方向（磁束方向）に張力を加えて鉄損，磁気ひずみを減少させている。けい素の含有率を通常の約3%から6.5%にすると磁気ひずみが0になることが，知られていたが，非常に脆くなり，実用が困難であった。図2にけい素含有量と鉄損，磁気ひずみの関係を示す⁽⁴⁾。最近，製造法の改良，加工性の改良などが進み，小形，高周波の変圧器に使用されるようになってきた。360 Hz，120 kVA変圧器への適用では，従来の方向性珪素鋼板を使用した場合に比較して10 dB (A) の騒音低減効果を得ている⁽⁴⁾。しかし，6.5%けい素鋼板の飽和磁束密度は1 T 程度のため，鉄心断面積が大きくなる問題がある。

図2 Si含有量と磁気ひずみ，鉄損の関係

図3 5脚鉄心の固有振動数

(2) 鉄心の振動

鉄心は磁気ひずみによるけい素鋼板の長さの周期的な変化により，面内の振動を発生する。図3に5脚鉄心の固有振動数の解析例を示す⁽¹⁾。鉄心は各脚，各ヨークの磁気ひずみにより，加振されていることから，各部の磁気ひずみの値を適切に選ぶことにより，特定の振動モードを打ち消すこともできる⁽⁶⁾。

(3) タンクの振動

油入変圧器では鉄心の振動は油中に音波として放射され，タンクに伝達してタンクを振動させる。油を付加質量としてタンクの振動を解析する方法は提案されており，補強ステーに囲まれたタンクの板の固有振動数が油の存在により，約1/2になることが知られている⁽⁶⁾。油の運動，圧縮性まで考慮した2次元での解析例を図4に示す⁽⁷⁾。

(4) タンクから出る騒音の低減

騒音の低減には変圧器の一部または全体を防音壁で囲む方法が一般に用いられる。図5に各種の防音壁を示す⁽⁸⁾。これらの方法では，工場内で防音壁を組み立て，試験後，解体して現地へ輸送し，再度組み立てる必要があり，工期が長くなり，変電所の必要な敷地面積も大きくなる。図6はこれらの欠点を防止するため開発された高効率遮音板である⁽⁹⁾。タンクの補強ステー間に遮音板を用い，支持部からの振動伝達を薄鋼板と棒状の質量体で遮断している。

(5) 変電所の音場予測

変電所の音場については，建物，ほかの機器による音の多重反射，回折などを考慮した計算が行われている⁽¹⁰⁾。求められた音場分布は変電所の計画時に変圧器の配置，騒音仕様，建物配置などを検討するのに使用されている。一方，変圧器が収納されているビル，室内の騒音の計算も行われている⁽¹¹⁾。

(6) 不燃変圧器の騒音

SF₆ ガスを用いたガス変圧器，パーフルオロカーボン液を用いたPFC変圧器が不燃変圧器として，特に地下変電所を中心に用いられるようになってきている⁽¹²⁾。タンクの内側はガスが接し，油に比べてタンクへ音が伝達しにくくなるため，騒音が低くなる。台数がまだ少ないが，ガス変圧器，PFC変圧器にすることにより，油入変圧器に比べて5～10 dB騒音が低くなるようである。

図4 変圧器タンクモデルの流体弾性振動

図5 各種防音壁の構造⁽⁸⁾

図6 高効率しゃ音板

(a) 防振ゴムによる振動絶縁

(b) 基礎の切り離し

図7 振動絶縁対策例⁽¹³⁾

3.2 遮断器、断路器

(1) 騒音

GCBの騒音は遮断部の操作方式により大きく変わり、空気操作、油圧操作、ばね操作の順に小さくなる。ABBに比べると騒音が小さく、間欠音で、発生頻度も少ないため、問題となることは少ないが、空気操作の場合には、空気の出口に消音器を設ける対策が取られている。空気操作の場合で、変電所の境界が民家に近く、対策を行った例がある。GCBの部分を防音カバーで覆うとともに、民家側に遮音壁を設けて、約20 dB(A)騒音を低減している。

(2) 振動

遮断器、断路器の振動においては、基礎への振動伝達を防止する振動絶縁が主である。対策としては

- 1) 防振ゴムによる振動絶縁
- 2) 溝による振動遮断

3) 機器の基礎と建物などの基礎の切り離しなどが行われている。図7に振動絶縁例を示す⁽¹³⁾。

(3) 振動、騒音低減の特許状況

遮断器の振動、騒音対策の報告例は少ないが、特許公報に以下の各種のアイデアが見られる。

- 1) 建物、ほかの機器との振動絶縁構造
- 2) 制動装置を2組設けて互いに逆方向に働かせ、反力を打ち消すもの
- 3) 操作機構部を防音カバーで覆うもの
- 4) 駆動用のアクチュエータに対抗して逆方向に動く干渉用アクチュエータを設け、衝撃力を打ち消すもの
- 5) 衝撃の吸収構造
- 6) GIS全体を防振支持し、ベース上にばね質量系を設け、振動を抑制するもの

4. 今後の方向

4.1 地下変電所の振動, 騒音

大都市における電力需要の飛躍的増大に伴って, 地下, あるいはビル内に変電所を設置するケースが出てきている。地下変電所の低振動, 低騒音化対策は電協研資料ほかのべられている^{(13),(14)}。

地下室では遮音効果が大きいので, 直接の騒音は問題にならないが, 冷却のための空気ダクトを通しての伝播音, 地上に設置する冷却塔の騒音などが問題となる。

一方, 変圧器, リアクトル, 開閉機器の振動は建物躯体を通して伝播し, 地上の構造物を振動させる。一度振動が建物躯体に伝達してしまうと, 建物の別の場所で騒音として放射される。伝達特性は建物の構造により, 大きく異なるため, 対策は困難である。そこで, 図7のように建物躯体へ振動を伝えないようにする必要がある。

4.2 直流変換機器, インバータなどの高調波機器による変電機器の騒音

直流変換機器に使用される変圧器, リアクトルには交流にわずかな直流が混じってくる。また, 高調波も重畳されてくる。電源周波数の倍の周波数の騒音が現われ, 騒音レベルも大きくなる⁽¹⁵⁾。

位相調整用のコンデンサも電極が静電力により振動し, 騒音を発生する。通常, この騒音は小さく問題になることはないが, 電源の高調波含有率が増すと無視できず, 5.85 MVar のコンデンサバンクで電源電圧の第3調波が6%程度⁽¹⁶⁾のとき, 120 Hz成分が67 dB (A) のが報告ある⁽¹⁶⁾。

4.3 アクティブ振動, 騒音制御

最近, アクティブに力, 音を加えて, 振動, 騒音を制御する技術が使用されるようになってきた。^{(17),(18)}

変圧器においては, Conover らが行った騒音制御実験が先駆で, スピーカを3個用い, 120, 240, 360 Hz成分の騒音を制御し, 約30°方向に騒音低減効果が得ている⁽⁶⁾。図8に Reiplinger の実験を示す⁽¹⁹⁾。11 MVA の変圧器に32個のスピーカと72~560個の制御用マイクロホンの実験で200 Hz成分を最大11.6 dB低減している。カナダの Manitoba Hydro での実験を図9に示す^{(20),(21)}。32個のセラミック加振器を7.5 MVA 変圧器のタンク壁に取り付け, 64個の制御用マイクロホンで制御し, 10~15 dBの効果をj得ている。

5. あとがき

変電機器の低振動, 低騒音化の歩み, 現在の技術, 今後の方向について述べた。変電機器としては地下変電所対応, 直流変換対応などが増加すると考えられ, 今までと多少異なった対応が必要になると考えられる。

(平成6年11月14日受付)

文 献

(1) 前島・叶井: 日立評論, 55, Vol. 67, No. 2, (1985-2)

図8 アクティブ騒音制御例(1)⁽¹⁹⁾

図9 アクティブ騒音制御例(2)^{(20),(21)}

- (2) 石川他: 電気四学会連合大会, 511 (昭37)
- (3) Fadrey et al: Proc. IEE, 968, Vol. 117, No. 5, May (1970)
- (4) 海老塚・木村: 東洋電機技報, 第87号, (平5-8)
- (5) 堀・藤澤: 日本機械学会論文集 (C編), 3694, 59巻, 568号, (平5-12)
- (6) Conover, Ringlee: Tr. AIEE, 77, April 1955
- (7) 堀他: 日本機械学会論文集 (C編), 1138, 60巻, 572号, (平6-4)
- (8) 電気協同研究, 20, 第33巻, 第2号
- (9) Kanoi et al: IEEE Tr. Vol. PAS-102, No. 9, 2817, Sept. (1983)
- (10) 堀: 日本音響学会講演論文集, 3-1-8, (昭53-5)
- (11) 森・林: 電学誌, 664, 111巻, 8号, (平3)
- (12) 電気学会技術報告, 14, 第459号, (平5-3)
- (13) 電気協同研究, 45, 第48巻, 第2号
- (14) 川野: 電気評論, 989, (平4-9)
- (15) E. Reiplinger: Elektrizitätswirtschaft, 278, Jg. 91 (1992), Heft 6
- (16) Cox, Guan: IEEE Tr. Power Delivery, 856, Vol. 9, No. 2, April (1994)
- (17) 福山他: 第3回運動と振動の制御, 308 S, (平5)
- (18) 森河他: 第3回運動と振動の制御, 305 S, (平5)
- (19) Reiplinger: Elektrizitätswirtschaft, 99, Jg. 91 (1991), Heft 3
- (20) Gouldborough: IEEE Transmission & Distribution, 44, April (1994)
- (21) McLoughlin et al: inter-noise 94, 1323, Aug. (1994)

堀 康 郎 (正員) 1939年11月12日生。1962年3月名古屋大学工学部電気学科卒。同年4月(株)日立製作所入社, 日立研究所勤務。主に変電機器の振動, 騒音の研究に従事。1986年西ドイツ Eduard Rhein 賞受賞, 現在同所国分工場統括副技師長。IEEE Senior Member, 日本音響学会会員, 日本機械学会会員。工学博士。