

交通用 VVVF インバータ の進化

高速サイリスタの実用化により開発が始動

鉄道車両の原動機は、直流電動機が使われてきていたが、主にブラシ・整流子に起因する故障や保守負担の点で、摺動部のない交流電動機の利用が期待されていた。

当社では1968(昭和43)年、すでに自社製150A600Vの高速サイリスタを使って、出力20kWの誘導電動機の電気自動車用VVVFインバータを開発していた。PWM制御とすべり周波数制御を適用した、極めて先進的なものであった。

続いて、産業用VVVFインバータ開発のため、1977年に米国・GE社との技術導入契約を締結し、汎用インバータVFシリーズの開発、販売を開始した。こうして、当社の交流電動機駆動用VVVFインバータ技術は立ち上げられた。

どちらも高速サイリスタの実用化により開発が始動したもので、その後は主に主回路半導体と制御デバイス(CPU等)の進歩がVVVFインバータの進化を推進することとなった。

誘導障害試験を含む各種実用試験を実施

1960年代後半より、ヨーロッパを中心に鉄道車両への交流電動機適用開発の口火が切られ、1970年台に入ってから高耐圧大電流サイリスタの実用化も追い風となり、誘導電動機をVVVFインバータで駆動するシステム開発が国内各社で始まった。

当社においても、1979年6月に専任グループを発足し、鉄道車両用VVVFインバータの開発に着手、1980年には、逆導通サイリスタ2500V400Aを使用した175kW誘導電動機4個駆動の試作装置を製作し、相模鉄道6306号車(客室内)に試験搭載して制御方法を模索しながら基本動作を確認した。続いて、当社製2500V500Aの逆導通サイリスタおよび小型化したフロン冷却構造を適用し、電車床下にぎ装できるサイズの装置を開発した。トルク制御に着目した制御方法で、CPUを初めて採用し、1982年、相模鉄道6306号車と阪急電鉄1601号車に試験搭載し、現車にて誘導障害試験を含む各種実用試験を実施してインバータ駆動の実力を把握した。

GTOサイリスタの実用化と全デジタル制御

1983年になると、主回路素子としてサイリスタに替わってGTO(Gate Turn Off)サイリスタが実用レベルに達し、2500V2000A

素子を適用した165kW電動機4個制御のVVVFインバータを開発、1984年、東急電鉄6002号車を改造して搭載し、現車試験を実施した。この装置は、フロンタンク沸騰冷却方式・複数のCPUを使用した全デジタル制御で、実用化を強く意識したものであった。1985年、東急電鉄6000系電車で長期の試験的な営業運転を実施し、有用性を確認することとなった。

この成功を皮切りに、GTOサイリスタを使用したVVVFインバータは、東急電鉄7600系(4500V2500A素子-110kW電動機8個制御)、相模鉄道3000形改造車(4500V2500A素子-180kW電動機4個制御)、阪急電鉄7300系(4500V2500A素子-180kW電動機4個制御)などで実績を伸ばしていった。また、環境問題にも対応すべく、フロンタンク沸騰冷却方式に替わるヒートパイプによる冷却方式を、鉄道車両としては世界で初めて採用した。1987年、広島電鉄3800系電車で適用し、1988年に東急電鉄1000系電車においてヒートパイプ冷却方式で130kW電動機8個一括制御を実現すると、その後、大電流型や逆導通型のGTOサイリスタを適用した装置を次々と開発し、VVVFインバータの普及に貢献した。

IGBTの高耐圧化とベクトル制御の本格投入

1990年代になると、サイリスタよりも駆動電力が少なく高速動作が可能なIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)が登場した。この素子の高周波スイッチングによる低騒音化と小型化のメリットは絶大で、1996(平成8)年、東急電鉄7700系においてVVVFインバータとVVVFインバータ+補助電源のシステムを開発、素子単体の耐電圧が十分ではなかったことから、中性点クランプ式の3レベルインバータを採用した。

その後、IGBTの高耐圧化が進んだことにより1500V電車線で使用可能な3300V級素子を使用できるようになり、2002年、JR東日本205系-5000代電車にて120kW電動機4個×2群のVVVFインバータを開発した。これはトルク応答に優れたベクトル制御の本格投入であり、速度センサレスを確立したシステムであった。制御用CPUもRISCマイコンを採用し、高速・高精度演算に対応していた。2003年、阪急電鉄9300系(200kW電動機2個×2群)では、新造当初から電動機に速度センサを装備しない、完全な速度センサレスシステムを実現した。

以後今日まで、顧客車両に対応した電動機出力や駆動単位、ブレーキチョップ装備、補助電源装置との一体化、三相交流架線入力に対応したコンバータ・インバータ方式など、さまざまなVVVFインバータシステムを、国内のみならず中国をはじめ北米・南米にも送り出している。



阪急電鉄7300系電車VVVFインバータ RG614-C-M (1986年)



東急電鉄1000系電車VVVFインバータ RG621-A-M (1988年)



JR東日本205系-5000番代VVVFインバータ SC71 (2002年)



相模鉄道6306号車内に置かれた試作装置 (1980年)