



研究ノート

超伝導電力貯蔵と極低温エレクトロニクス

村上吉繁*

はじめに

超伝導電力貯蔵 (SMES) もようやく国家プロジェクトとして取り上げられる機運が高まって来た。

100KWH (360MJ) の小規模であるが、これまで工学部附属超伝導工学実験センターの研究成果として提案してきた電力系統安定化の用途を目指している。本学の強力な支援と学部学科の学際的協力の基に進めてきた成果が活用されることを喜びたい。

この様な小規模SMESでも、1000万KWの系統を安定化出来る。即ち、周波数動揺と電圧変動が秒のオーダの周期でこの系統に発生するとき、超伝導マグネットに蓄えられた貯蔵エネルギーを同じ様に速やかに充放電すると動揺の1から2サイクル以内で振動を抑制することが出来る。

このとき電力変換装置で超伝導マグネットの直流を3相の交流に変換する。最近のパワーエレクトロニクスによれば、この充放電で無効電力を進みから遅れの力率まで自由に制御できると同時に、有効電力は充電と放電を任意の時間変化で制御できることをセンターで初めて実証したのである。

課題は、充放電電力が極めて大きく系統規模の1/10の100万KWにも達することである。このことにも関連して、電力応用にはパワーエレクトロニクスが不可欠であるが、そのサイズが一般にモータやマグネットに比べて過大となること、その解決方法として極低温パワーエレクトロニクスを筆者は提案してきた。以下にそ

の内容を述べたい。

極低温エレクトロニクス

計算機及び計測に関連するマイクロエレクトロニクスでは、高集積化、高速、高性能、低損失及び極低温動作機器との低温環境における一体化を目指して極低温エレクトロニクスが最近の10年間強力に研究されてきた。

マイクロエレクトロニクスで高集積化が今日見るような進歩を遂げたのは、技術開発もさることながら信号の電圧レベルを下げたことも大きな要因であった。この上に更に極低温領域にまで可能性を追求しようとしている。ここでは液体窒素温度の80Kにおける半導体デバイスの特性に着目してきたが、高温超伝導の発見以後は、その応用も広く追求されている。

一方パワーエレクトロニクスでは、電圧及び電力は、仕様条件であり変えることが出来ないから高集積化のためには低温領域に着目せざるを得ない。これまでに実験と解析を行った結果では、小数キャリア型のデバイスは低温の小数キャリア凍結により性能が劣化して使えない。多数キャリア型のデバイスは80Kの低温でキャリア移動度が増加する上、凍結の問題がなく最も優れた特性が得られている。高温超伝導の配線と組み合わせたハイブリッドパワーエレクトロニクスが有望であろう。

パワー-MOSFETの特性

MOSFETは多数キャリア型デバイスである。縦型構造のNチャンネルMOSFET (図1) についてのドレイン特性を図2に示す。オン状態で電圧降下が小さく低損失が期待できる。実際繰り返しスイッチ動作に於て、常温時の1/4の損失であった (図3)。

*村上吉繁 (Yoshishige MURAKAMI), 大阪大学工学部, 電気工学科, 教授, 工学博士, 電気工学

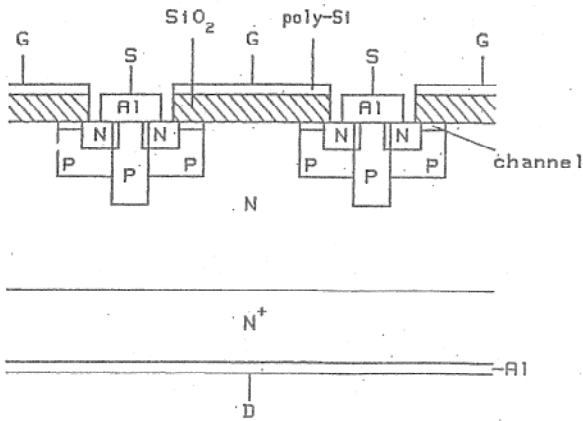


図1 縦型MOSFETの構造

極低温チョッパによる超伝導マグネットの制御

MOSFET (3 A) × 16個でチョッパ (電流開閉スイッチ) を構成して、2個のチョッパを小型超伝導マグネットと共に同一のクライオ

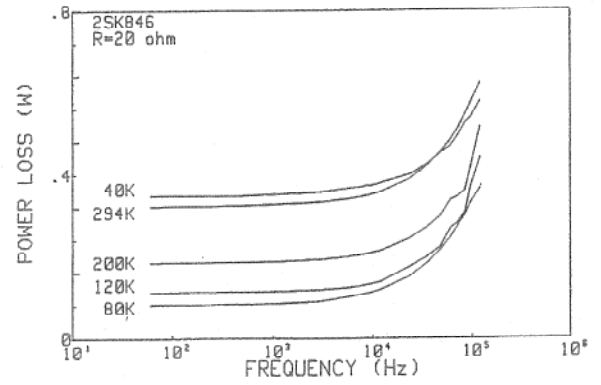


図3 MOSFETのくり返しスイッチ動作時平均損失

スタット中に図4のように組み込んだ。図5の回路で、最大電流値30Aまで充電、永久電流、及び放電モードの制御を80Kの低温環境下で行うことが出来た。損失は常温時運転の1/2以下であった。ここで、充電においてはFET 1, マグネット, FET 2を通じて通電。永久電流モードは、FET 1, マグネット, ダイオード

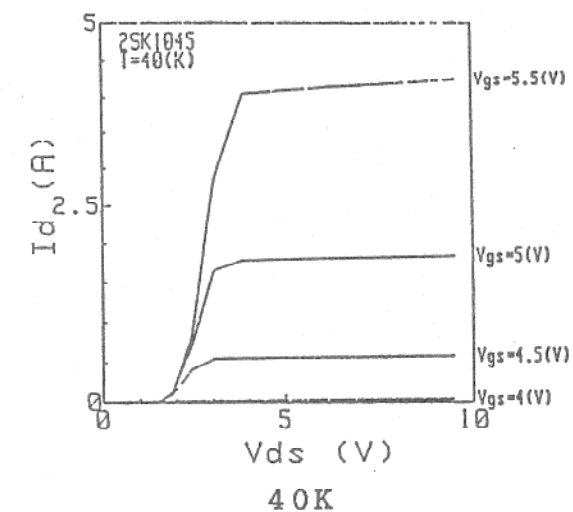
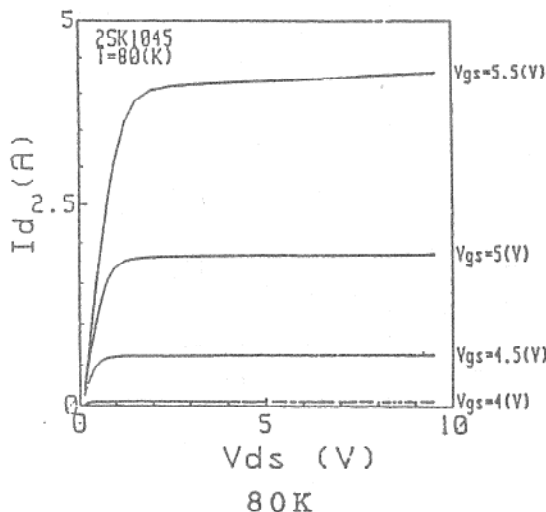
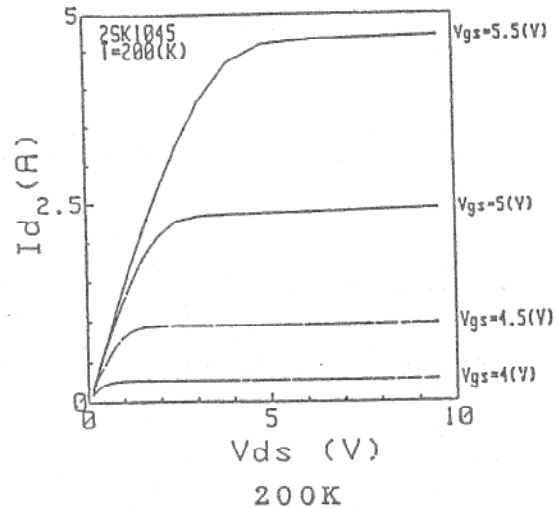
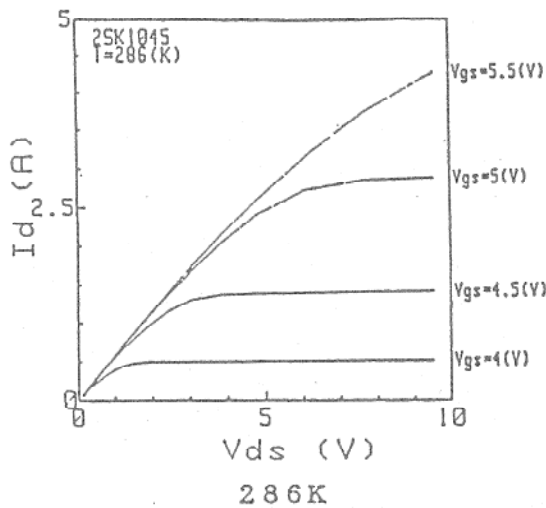


図2 パワーMOSFET (2SK1045) のドレイン・ソース電圧 (Vds) 対ドレイン電流 (Id) 特性

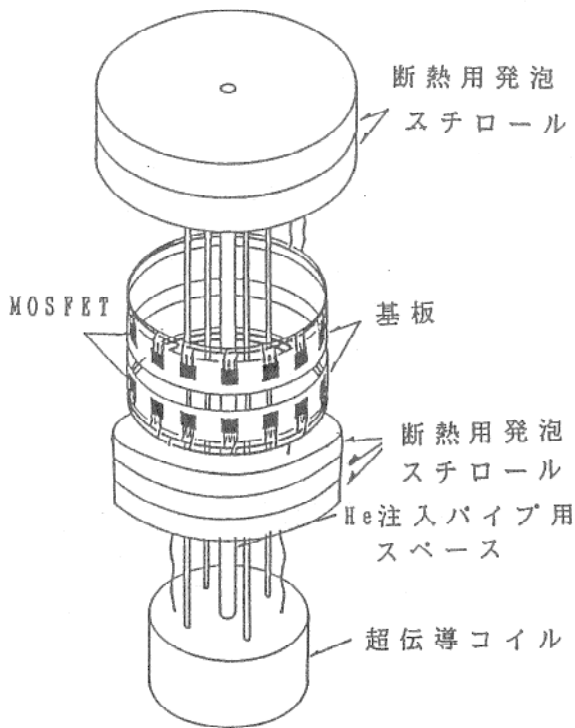


図4 デュワー内のコイル、変換装置などの配置

を通じて短絡，FET2はOFF。放電では，FET1，FET2をOFF，二つのダイオードを通じて通電。このようにしてモードを制御している。

おわりに

半導体デバイスは，液体窒素温度で最も優れた特性を示す。高温超伝導の発見によりこの温度で両者の共存が可能となり，これからのエレクトロニクスの発展に大きな期待を抱かせるものである。パワーエレクトロニクスが飛躍的な高性能化を遂げるためにはこのような半導体と超伝導の結合しかないと筆者は考えている。

すなわち，10kHz以上の高速スイッチングPWM (Pulse Width Modulation, パルス幅変調) 制御による高調波のない連続波形の発生，高集積化の要望に答えるためには低温領域の技術開発を行わなければならない。

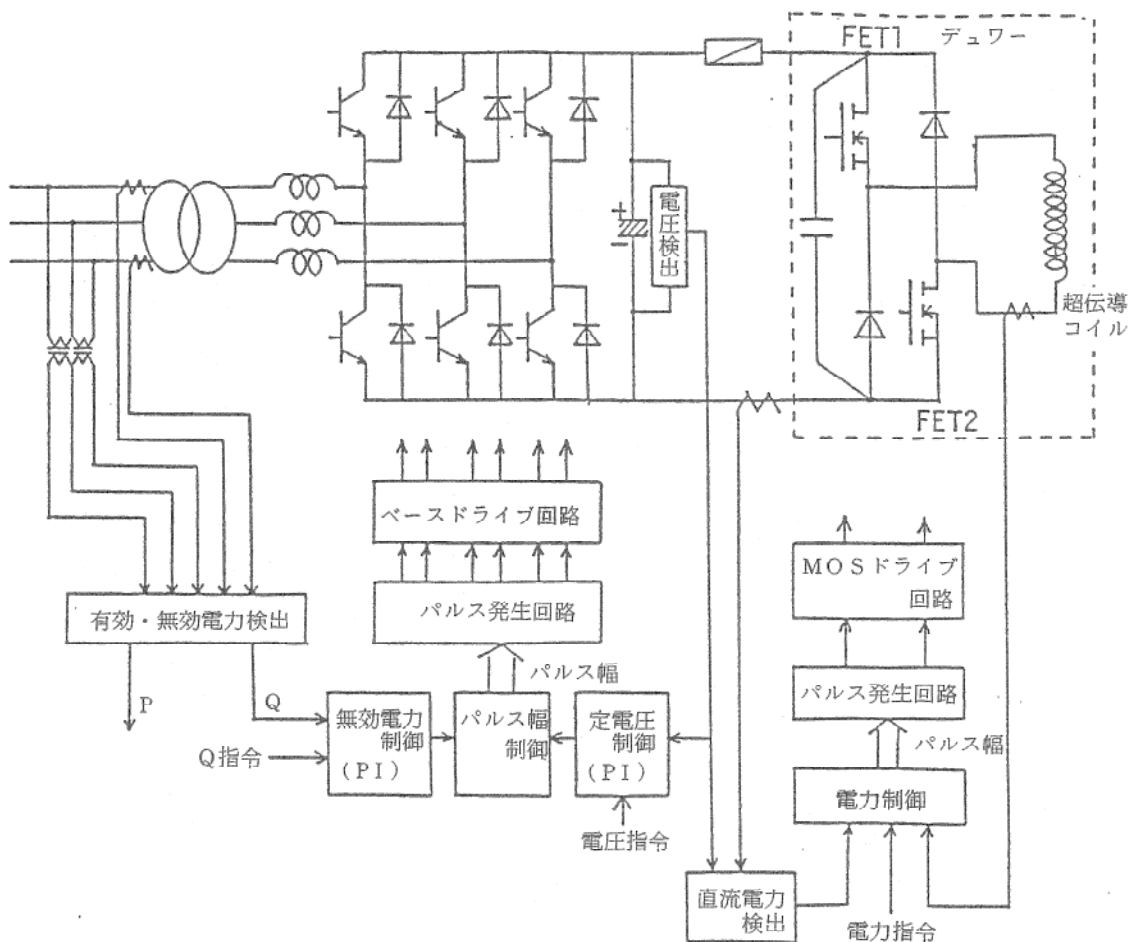


図5 システム構成