

新聞発表記事

掲載紙紹介 ([日経産業新聞](#)、[日刊工業新聞](#)、[化学工業日報](#))

超電導SFQ回路の室温入出力ユニットを世界で初めて開発

——室温から-269°Cに高速アクセス、SFQスイッチのシステム化へ大きく前進——

平成18年6月13日

財団法人国際超電導産業技術研究センター
超電導工学研究所

(財)国際超電導産業技術研究センター(理事長:荒木浩)超電導工学研究所(所長:田中昭二)はこのたび、マイナス269度で動作する超電導^(注1)SFQ(単一磁束量子)回路^(注2)と室温環境との間で、多数(32本)の高速信号(10Gbps)をやり取りできる装置を世界に先駆けて開発し、その動作実験に成功しました。

SFQ回路は、数十GHz以上のクロックで動作するLSI(大規模集積回路)を実現できる技術として期待されていますが、SFQ回路が動作するためには4K(-269°C)の極低温環境が必要であり、他の情報通信機器と簡単に組み合わせて使用出来る様に、室温で接続できる形にユニット化することが望まれていました。

今回の成果は、SFQ回路を用いたシステムの開発への大きな一歩となるものです。

今回の成果は、「低消費電力型超電導ネットワークデバイスの開発」事業(プロジェクトリーダー:早川尚夫名古屋大学名誉教授)として、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託を受けて実施したものです。

SFQ回路は、現在の半導体回路より数十倍速い100GHzで動作した場合でもゲート当たり0.1^μW程度の電力しか消費せず、発熱を殆ど生じないことから、情報処理に革命的な進歩をもたらす超高速かつ大規模な回路を実現する技術として期待されています。このため超電導工学研究所では、ネットワークルータ用スイッチ^(注3)をターゲットとしたSFQ回路の開発を進めており、これまでに4×4(4入力、4出力)SFQスイッチの開発や、その制御回路であるSFQスイッチスケジューラ^(注4)が半導体スイッチの約100倍^(注5)にあたる40GHzで動作することの実証等を行って参りました。

今回開発した室温入出力ユニット(広帯域低温サブシステム)は、複数のSFQチップを搭載した超電導マルチチップモジュール(MCM)を冷凍機で4Kまで冷却し、このMCMに対して32本の10Gbps電気ケーブルを用いてデータの入出力を行う装置です。このような装置の開発は世界で初めての試みであり、この成果によりSFQ回路を容易に使える条件が整い、ネットワークルータ用スイッチなどへの応用に向けた開発が加速されるものと期待されます。

今後これらの技術を組合せ、制御機能付きのSFQ4×4スイッチをこの装置に実装し、年内を目処に、SFQスイッチの高速性を実証するデモンストレーションを行う予定です。

SFQ回路の性能を十分に引き出すには40Gbps以上の入出力を行うことが重要です。本装置の開発において今回は電気ケーブルを用いましたが、電気ケーブルでは10Gbpsまでの信号伝送が可能です。それ以上の伝送レートでは光ファイバを用いる必要があります。また、冷凍機の冷却能力のほとんどは電気ケーブルからの熱流入対策として消費されています。これらのことから、光とSFQ回路のインターフェイス開発が、今後の重要な開発課題であると考えられています。

【室温入出力ユニットのために開発した、世界初の技術群】

(1) SFQパルスのチップ間高速伝送

半導体回路では電気信号のチップ間伝送は10Gbps程度が限度と言われており、それ以上の伝送レートを実現するために光を使った伝送が検討されています。SFQ回路では抵抗ゼロの超電導配線を用いて光と同じ速度でSFQパルス信号をチップ間伝送することができるとされ、最高117Gbpsの伝送速度が実験によって確認されています。今回の装置では超電導MCM上のチップ間で10GbpsのSFQパルス伝送を行っています。

(2) 極低温・広帯域・多ピンプローブ

10Gbpsの信号を伝送できる広帯域な電気ケーブルを多数、しかも極低温で接続した例は今までありませんでした。これまで、ケーブルと超電導MCMをつなぐに当たってはプローブ部分でのロス低減が大きな技術課題でした。今回この問題をクリアするために、専用のプローブを開発しました。

(3) 熱流入と高周波特性を最適化した広帯域実装

電気伝導度の高いケーブルは熱伝導度も高いという特徴があります。32本もの広帯域ケーブルからの熱流入を冷凍機の冷却能力内に抑えるために、実装に新たな工夫を取り入れました。例えば、今回用いた冷凍機は冷却能力1Wの4Kステージと50Wの50Kステージがありますが、室温から50Kステージ、50Kステージから4Kステージ、4Kステージから超電導MCM間に高周波特性と熱伝導度の異なるそれぞれ別種のケーブルを用い、熱流入と高周波特性の最適化を行いました。

(4) SFQ回路微小出力の広帯域増幅

SFQ回路が高速で動作しても消費電力が小さい理由は、動作電圧が数100 μ Vと半導体回路に比べて3桁以上小さいことにあります。一方、SFQ回路の出力は電圧が小さすぎて、そのままでは他の情報通信機器で用いられている半導体回路で読みとることができないため、半導体回路で判別できるレベルまで増幅する必要があります。伝送レートを10Gbpsに保ったままで増幅を行うために、超電導増幅器と50Kステージにおかれる半導体増幅器を新たに開発しました。

【動作実験の詳細】

標準的な広帯域測定装置であるパルスパターンジェネレータ(PPG)とサンプリングオシロスコープ(SO)を室温コネクタで本装置に接続し、動作実験を行いました。PPGから10GbpsのNRZ(ノン・リターン・ゼロ)信号を入力し、SFQチップ上にあるレベル信号/SFQパルス変換回路でRZ(リターン・ゼロ)の10GbpsSFQパルスに変換した後、ジョセフソン伝送線路(JTL)と呼ばれるSFQ回路中を伝搬させました。伝搬したSFQパルスは超電導増幅器で増幅とレベル信号への変換が行われ、50Kステージにある半導体増幅器でもう一段増幅されてからSOに表示されました。この実験によって、10Gbps電気信号がSFQ回路で処理された後正しく出力されていることが確認できました。また、ビット・エラー・レート(BER)を測定したところ、通信応用に十分な 10^{-13} 台の値を得られることが確認できました。

[本件に関するお問合せ先]

超電導工学研究所 デバイス研究開発部

部長 田辺 圭一 e-mail : tanabe@istec.or.jp

電話 03-3536-5709

FAX:03-3536-5705

低温デバイス開発室長 日高 睦夫 e-mail : hidaka@istec.or.jp

電話 029-849-0707

FAX:029-859-5531

(注1)超電導

臨界温度と呼ばれるある温度以下で超電導体と呼ばれる物質の直流電気抵抗がゼロになり、内部から磁場を排除する現象です。超電導デジタル応用に使われる超電導体には、マイナス269°C(絶対温度4° K)付近で動作する低温超電導体とマイナス243°C(絶対温度30° K)以上で動作する酸化物系の高温超電導体とがあります。低温超電導材料には一般にニオブ(Nb)という金属が用いられます。ニオブは安定で取り扱いやすい材料であるため、ニオブ系の回路は集積度が高いことが特徴です。

(注2)SFQ(単一磁束量子)回路

超電導体で作られたリングを用いることで、磁束を 2.07×10^{-15} Wbを一つの単位として閉じ込めることが可能となります。このことを磁束の量子化と言います。量子化された磁束の最小単位を単一磁束量子または英語表記でSFQ(Single Flux Quantum)と呼びます。

SFQ回路とは、超電導リング中のSFQの有無を情報の”1”,”0”に対応させて演算を行う回路のことをいいます。

超電導リングにSFQを出し入れするには、ジョセフソン接合と呼ばれる能動素子を使います。ジョセフソン接合は超電導体同士が”弱く”結合した構造をしています。このジョセフソン接合にある一定電流(臨界電流)以上の電流が流れると超電導状態から電圧状態(非超電導状態)に転移します。超電導リングに含まれるジョセフソン接合の電圧状態への転移によりリングの超電導が一瞬だけ破れます、この部分を通してSFQをリングに出入りさせ、演算を行います。動作速度は半導体素子の100倍、消費電力は1/1000です。また、SFQは超電導配線中を光速に近いスピードで減衰なしに伝わるすることができます。

(注3)ネットワークルータ用スイッチ

ネットワークルータのうち規模の大きいものをハイエンドルータと呼びます。ハイエンドルータは一般にパケットの前処理を行うラインカードと呼ばれる部分とアドレスに従いパケットを交換するスイッチと呼ばれる部分から構成されます。ラインカードは複雑な処理を行いますが、1ポートからのパケットを一つのラインカードで処理することができるため、半導体技術で対応可能です。一方、スイッチは全てのラインカードからのパケットが集中するため、ハードウェア的に高い能力が要求されます。超電導工学研究所ではスイッチをターゲットにSFQ回路の開発を行っています。

(注4) スイッチスケジューラ

スイッチスケジューラとは、ネットワークルータを構成する主要パーツで、ネットワークルータの内部で同じ行き先のパケット同士が衝突しないように、データの振り分け処理をする順番をコントロールする回路のことです。

(注5) 半導体スイッチのクロック

スイッチは全体を同じクロックで動かす必要があることと、稼働率が1に近い回路であり発熱の影響を受けやすいことのためにクロックを上げることが難しい回路です。このため、半導体スイッチのクロックは現在数百MHzに留まっています。