

STUDY OF A RADIAL-LINE HOM DAMPER FOR THE L-BAND SUPERCONDUCTING CAVITY

Kensei Umemori¹, Masaaki Izawa, Kenji Saito, Shogo Sakanaka
High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801

Abstract

For energy recovery linacs, strong damping of higher-order-mode(HOM) is very important to suppress the beam-breakup instabilities. We have studied new HOM damping scheme which consists of a radial transmission line, a choke filter, and an HOM absorber. A model of radial-line HOM damper was fabricated and attached on a model of 9-cell TESLA-type cavity. Low-power measurements have been carried out in order to investigate the HOM characteristics. The results showed promising performance of the radial-line HOM damper.

L-バンド超伝導加速空洞のためのラジアル型HOMダンパーの研究

1. はじめに

高輝度、極短パルス光を発生するエネルギー回収型ライナック (ERL) は将来光源として有望視されているが、その実現のための重要課題の1つとしてエミッタンス悪化の原因となるビームブレイクアップ不安定性 (BBU) の抑制が挙げられる。BBUは加速空洞の高次モード (HOM) により引き起こされるものであり、そのためERLでは強力なHOM減衰が要求される。

超伝導空洞のHOM減衰法として様々な方法が開発されているが、より強力なHOM減衰法を求めて、我々はラジアル型HOMダンパー^[1,2]の研究を行っている。このHOM減衰法は新竹らのアイデア^[3,4]を超伝導空洞に適用したものであり、ラジアル伝送線路、チョークフィルター、マイクロ波吸収体からなる。概念図を図1に示す。HOMの電磁場は、ラジアル線路に結合・伝播し、マイクロ波吸収体で減衰する。この方式は、遮断周波数を持たないために、ブロードバンドのHOMに対して有効であることが特徴である。ただし加速モードも減衰してしまうため、フィルター構造が必要となる。超伝導空洞の場合には加速モードに対して少なくとも 10^8 のQ値が必要とされる。

HOM減衰特性の評価を行うために、我々はラジア

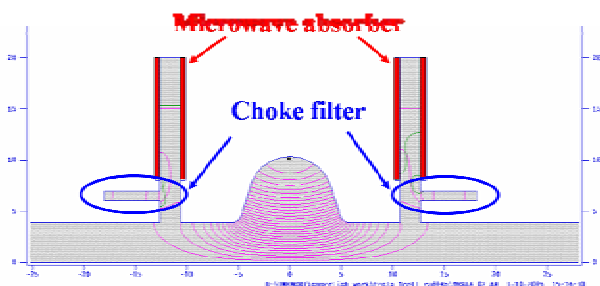


図1 ラジアルHOMダンパーの概念図

ル型HOMダンパーとTESLA型9セル空洞のモデルを製作し、低電力測定を行った。本論文においては、その測定結果を中心に報告する。

2. 測定および測定結果

2.1 測定セットアップ

図2にTESLA型9セルモデル空洞にラジアル型HOMダンパーを取り付けた様子を示す。モデル空洞は銅ブロックから削り出されており、内面形状はTESLA空洞を模擬して $10\mu\text{m}$ 程度の誤差で精密に製作された。HOMダンパーは、チョーク構造なしのものを1台製作し、モデル空洞の片側に取り付けて測定を行った。マイクロ波吸収体(TDK IRL02; 2mm厚)はダンパー内部に接着されている。

HOM減衰の強さは、空洞とHOMダンパーとの間の距離に強く依存する。今回の実験においては、厚さの異なる金属スペーサーを用いて、空洞とHOMダン



図2 TESLA型9セルモデル空洞に取り付けられたラジアル型HOMダンパー

¹ E-mail: kensei.umemori@kek.jp

パーの距離を6cm, 3cm, 1cmとした3通りの場合の測定、そしてHOMダンパーを取り外した場合での測定を行った。シミュレーションによれば図1に示したようなフィルターデザインの場合で、空洞とHOMダンパーの距離を3cm取れば、加速モードのQ値に対し 10^8 を確保できる。

共振モードの測定は、エンドセルに取り付けたピックアップポートを用いて行った。ダイポールモードの両偏向モードを測定できるように、水平、垂直2ヶ所のピックアップを用いた。

それぞれのモードのQ値は、反射および透過測定から求め、HOMダンパーの Q_{ext} は、ダンパーあり/なしでのQ値を用いて求めた。

観測された共振モードのモードアサインメントは周波数により行った。以下の測定結果においては、周波数の低い方から、例えば、TM010-1, TM010-2, ..., TM090-9のように番号をつけている。

図3にHOMダンパーなしの場合の1~3GHzの範囲での9セルTESLA型空洞のHOMスペクトルの測定結果を示す。

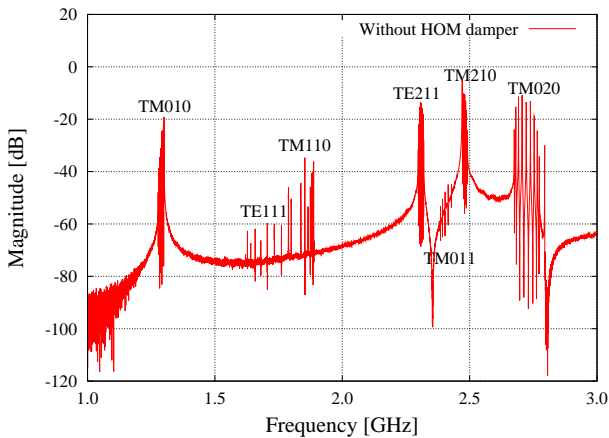


図3 HOMダンパーなしの場合のTESLA型9セルモデル空洞のスペクトル

2.2 測定結果 (モノポールモード)

図4に(a) TM011と(b) TM020の測定結果を示す。HOMダンパーを空洞から6cm, 3cm, 1cmの距離に設置した時の、ダンパーの Q_{ext} を共振モード毎にプロットしたものである。なお、ピックアップへの結合が弱いなどの理由で測定できなかったモードは、図から除いてある。

HOMダンパーの距離3cmの条件でほとんどのモノポールモードが 1×10^4 程度まで減衰されている。さらにHOMダンパーを空洞に近づければ、数倍強いHOM減衰を得ることも可能である。

ちなみに、空洞とHOMダンパーの距離3cmの時の加速モードのQ値は 2×10^5 である。強いHOM減衰を得ながら、一方で加速モードに対して高いQ値を維持するためには、チョーク構造のデザインに注意を払う必要がある。

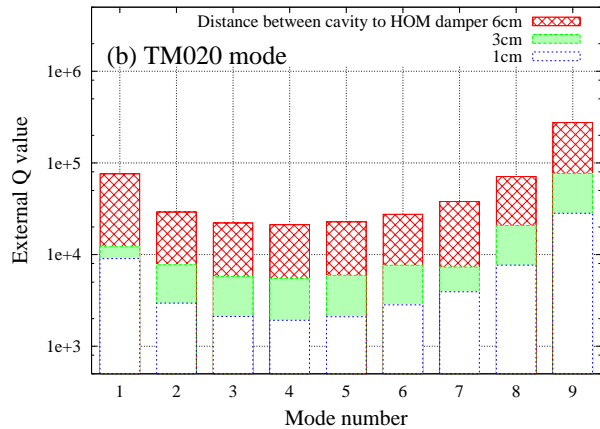
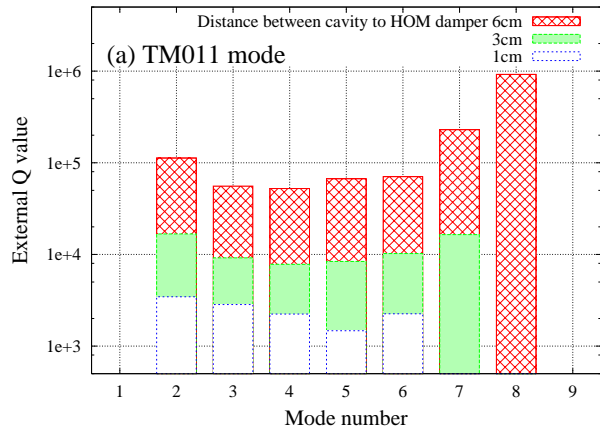


図4 (a) TM011と(b) TM020の測定結果。HOMダンパーを空洞から6cm, 3cm, 1cmに設置した時の Q_{ext} 測定値。

2.3 測定結果 (ダイポールモード)

図5に(a) TE111と(b) TM110の測定結果を示す。両偏向モードが測定されているため、それぞれ18個のモードが示されている。

HOMダンパーの距離3cmで、TE111に関しては 10^4 以下の十分なHOM減衰を得ることができた。その一方でTM110に関しては、典型的には 10^5 程度の Q_{ext} であり、モードナンバーが大きくなるほどHOM減衰が弱くなっていく傾向が見られる。このモードはHOMダンパーをさらに近づけて、空洞から1cmの場所に設置した場合でも、それほど強く減衰させることができていない。詳細は調査中であるが、おそらく電磁場がビームパイプ側に十分漏れ出ていないものと思われる。

2.4 測定結果 (クアドロポールモード)

クアドロポールモードは、TE211, TM210, TM211, TE222, TE221について測定を行った。これらのモードは Q_{ext} が大きいため、銅製のモデル空洞を用いた測定ではあまり良い測定精度は得られないが、

大雑把に言って 10^6 程度のHOM減衰が得られている。他のモードと比較して減衰量は少ないが、quadrupole BBUを避けるためには、この程度のQ値が得られていれば十分であると考えられる^[5]。

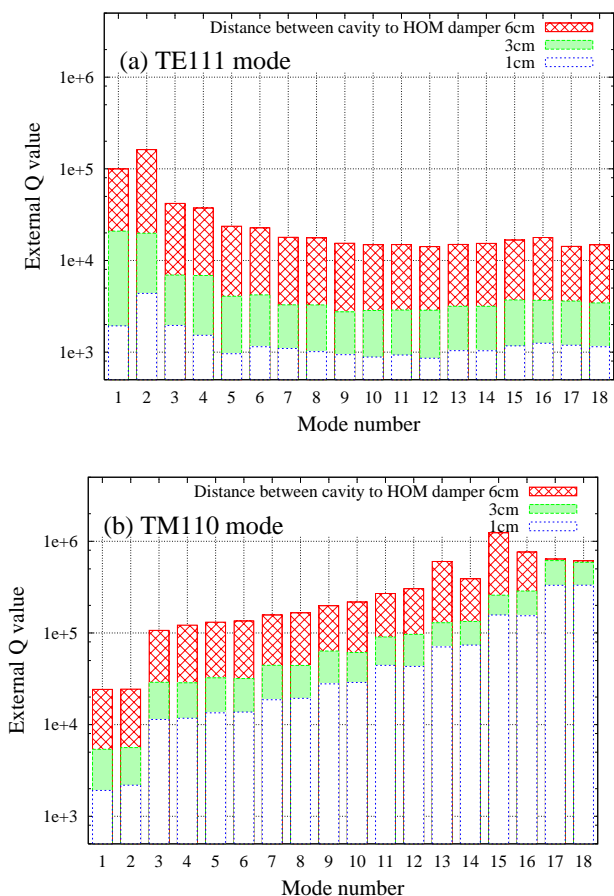


図5 (a)TE111と(b)TM110の測定結果。
HOMダンパーを空洞から6cm, 3cm, 1cm
に設置した時の Q_{ext} 測定値。

3. シミュレーション

ラジアルHOMダンパーの特性評価のために、上記実験条件での予備的シミュレーションを行った。MAFIAを用いて摂動法によりHOMダンパーの Q_{ext} の計算を行った。マイクロ波吸収体の電気伝導率は、1セルの場合の測定結果を参考にして、 $7.0/(\Omega \cdot m)$ とした。シミュレーションの結果は、全般的に測定結果の示す傾向を良く再現するものであった。モノポールモードの場合で30%、ダイポールモードの場合で2~3倍程度の範囲内で測定結果と一致していた。一部違いが見られたのは、TE111の周波数の低いモードで、計算値の方が測定より10倍以上小さいQ値を示していた。計算方法も含め、シミュレーションにはまだ改善の余地が残されているので、今後検討を進めていく。

3. 考察

これまでラジアル型HOMダンパーのHOM減衰特性の測定結果を示してきた。HOMダンパーを空洞から3cmの位置に設置した場合の結果をTESLA型ループカップラーの場合^[6]と比較すると、モードにも依存するが、TESLA型カップラーと同等か、数倍良いHOM減衰が得られている。HOMダンパーをより空洞に近づけることができれば、さらに数倍から10倍強いHOM減衰を得ることも可能である。そのためにもフィルター構造のデザインは重要である。

今後の課題としては、比較的インピーダンスの高いTM110があまり強く減衰できなかったことが挙げられる。これを実現する方法としては、ビームパイプの径を大きくする、空洞形状を最適化するなどして、電磁場を引き出しやすくすることが必要であると思われる。また空洞のセル数を少なくすることも効果がある。この点を考慮して、今後の研究を進めていく。

上記以外では、低温条件下で良い吸収特性を示すマイクロ波吸収体を探すこと、クライオモジュールにラジアル型HOMダンパーをどのように組み込んでいくか、といった点が実用化に向けての課題として挙げられる。

4. まとめ

我々は、L-バンド超伝導加速空洞の新しいHOM減衰法であるラジアル型HOMダンパーの研究を行っている。TESLA型9セルモデル空洞ならびにラジアル型HOMダンパーのモデルを製作して、HOM減衰特性の評価を行った。

ラジアル型HOMダンパーを空洞から3cm程度のところに設置した場合に、モノポールモード、ダイポールモードのほとんどは、 1×10^4 程度またはそれ以下まで減衰することができ、このHOM減衰法が有用であることを示している。TM110のいくつかのモードが 10^5 程度までしか減衰できなかったため、この点の改善が今後望まれる。ビームパイプ径を大きくする、HOMダンパーを近づけるなどの方法により、さらに強いHOM減衰が得られるものと期待される。また、チョークフィルターの設計も重要なポイントである。

参考文献

- [1] K. Umemori, et al., Proceedings of Workshop on Energy Recovering Linacs(ERL2005), Newport News, VA., 2005
- [2] K. Umemori, et al., PAC'05
- [3] T. Shintake, Jpn. J. Appl. Phys. 31(1992)L1567
- [4] T. Koseki et al., EPAC'04, p. 1048
- [5] M. Liepe, Proceedings of Workshop on RF Superconductivity (SRF2003), Luebeck/Travemuende, Germany, 2003
- [6] TESLA Test Facility Linac Design Report, edited by D. A. Edwards, DESY, 1995