

RESULTS OF HIGH-POWER KLYSTRON DIP TEST IN THE KEK LINAC

K.Nakao, H. Katagiri, T.Matsumoto, S.Michizono, T.Takenaka, Y.Yano, H.Yosida, S.Fukuda
High Energy Accelerator Research Organization
1-1 Oho, Tukuba, Ibaraki,305-0801

Abstract

Dip test, which is the measurement of a klystron heater activity, is recently adopted as the standard measurement to maintain the klystron operation in the KEK electron-positron linac. Last year, we began to use a dip test as the quick way to measure the emission characteristics from the klystron cathode. After the successful results, we made the dedicated measuring systems and measured the dips of the cathode emission of 60 operating klystrons in the KEK electron-positron linac. These data are important to estimate the klystron cathode life and used to select the candidate klystrons of replacement in the summer shut down period.

KEK電子陽電子加速器における大電力クライストロンディップ試験の結果

概要

高エネルギー加速器研究機構(KEK)の電子・陽電子ライナックではSバンド大電力のクライストロンが60台稼動している。これらのクライストロンを安定に動作させる為にクライストロンに通電するヒータ電力を監視し、通常はカソードの動作領域が空間電荷制限領域であるように保っている。しかし稼動時間とともにヒータの活性度は低下していき最終的にはエミ減となり交換する事となる。このためヒータ電力(電圧)の適正値を把握しておく必要がある。その方法のひとつとして短時間で適正エミッションを評価できるディップ試験と呼ばれる方法がある。我々は昨年度この試験をエミッション減少(エミ減)の数本のクライストロンに実施し、エミッションの活性度の測定に有用な結果が得られた^[1]。KEKライナックではメンテナンスに対する情報として全クライストロンにわたりディップ試験を行っており、本論文はこの結果について報告する。

1. はじめに

KEKにおける電子・陽電子ライナックでは60台の大電力クライストロン(周波数2856MHz, 運転最大パルス出力電力46MW, 平均パルス出力電力41MW, RFパルス幅4 μ s, 繰り返し50pps, マイクロパービアンズ2.1)が稼動している。年間7,000時間の運転を行い、クライストロンの平均寿命は30,000時間以上である。年間の平均交換台数は5~8本程度である^[2]。その交換要因としては、窓の破損、管内放電等いろいろあるが、長時間使用したクライストロンに関してはエミッション減少が多くなる。交換の判定基準となるヒータの活性度を測定する方法として、通常はヒータ電力(電圧、ヒータ温度)に対するエミッション電流の変化を測定し、一定値から減少し始める変化のポイント、又は肩の位置を調べる。この特性はエミ

ッションの肩特性またはMiram Plotと呼ばれる^[3]。これは各ヒータ電力の動作点ごとに熱的平衡に達してからエミッションを測定する。1台のクライストロン対し肩特性測定を終了するのに半日程度の時間が必要である。これに対し効率的かつ迅速にエミッションの活性度を測る試みとしてディップ試験と呼ばれる方法がある。これは高圧を掛けたままヒータを短時間オフしてエミッション電流の変化を測定するものである。Miram Plotとの関係を図1に示す。これから解るように動作点が正常であればディップの深さは浅く、動作点がぎりぎり又は既に肩の位置であればディップは深くなる

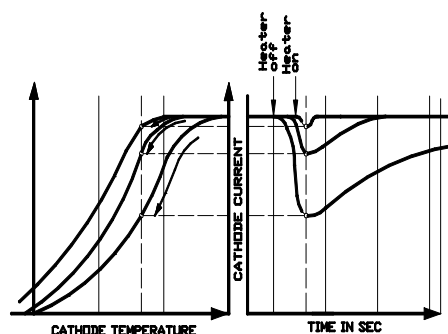


図1: Miram Plotとディップ試験

2. カソードのディップ試験の現状

昨年の報告^[1]の通りディップ試験の有用性が確認されたため、現在ディップ試験は専用の測定装置を用いて行なっている。これはデジタルオシロスコープ、デジタルボルテージメータ及びノート型パソコンで構成されている。オシロの制御およびデータの取得はLab Viewを用いてGPIB経由で自動的に行われ迅速な測定が可能となった^[4]。ヒータのオフ-オンに関してはクライストロンモジュレータのヒータ回路

にあるNFBを手動でオフオンして行っている。我々の大電力クライストロンでは、このオフ時間は60秒である。通常はクライストロンの保護のためヒータがオフになれば高圧オフになるようなシーケンスとなっているので、この測定の間のみインターロックを殺さなければならないので注意が必要である。図2にこの測定装置の概要を示す。全体としてコンパクトでキャスター付の小机に載せて移動できる。ディップ試験は装置の接続、インターロックの解除、測定、インターロックの復旧、装置の取り外しの手順で行われ、測定開始から終了まで約15分程掛かる。これはヒータを再度オンしてからカソードが熱的に安定するまでに掛かる時間も含んでおり、単にディップを測定するだけなら5分で終わる事ができる。この15分間、測定されるクライストロンはビーム運転には用いる事が出来ない。従来KEKのライナックでは夏季と冬季のシャットダウン前に限ってMiram Plotを取る方法でエミッション電流の測定を行ってきた。前述の通りこの測定は通常5~6点ヒータ電力を変えて測定を行う必要があるのと、熱的平衡に達するまで30分以上かかるのとで、1本のクライストロンのMiram Plotを取るのに3~4時間必要であった。2004年4月からKEKBリングへの連続入射が始まり、時間的な制約からこのような長時間を要する測定を実施することは困難になった^[5]。

前述したようにディップ試験では1台のクライストロンの試験に15分しか必要としない。我々は測定装置2台でライナック全クライストロンのディップ試験を行うことにした。60台のクライストロンに対する測定は短期メンテやビーム運転停止中などの短い空き時間を利用して行った。ヒータ電圧は110V(運転値)、印加電圧も安全のため270kV(運転値300~320kV)に設定した。

測定はのべ3~4日で終了しビーム運転に支障をきたすことも無かった。我々は2004年5月までに4回の測定を行い多くのデータを得ることができた。

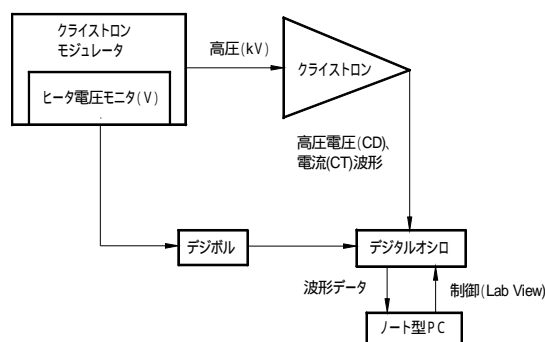


図2：ディップ試験概略

3. ディップ試験結果

図3にクライストロンギャラリーにおける全クライストロンディップ試験の結果を示す。縦軸はディ

ップの深さを%で表してある。ヒータオフの時のエミッションが通常のヒータオン時に比べどのくらい変化しているかを表している。1回の測定結果だけではその時のエミッションの状態しか確認できない。数回の測定結果を時間経過とともに比較する事によってヒータの活性度の低下の進み具合がわかる。つまりディップの深さの絶対値ではなく、ディップの深さの相対的な増加によってエミ減の判断を下す。しかしながら、1回の試験結果においてもある一定のパーセンテージを超えているものはエミ減の傾向にあると考えられ、監視的なディップ試験の対象となる。

通常稼働時間と共にヒータの活性度も低下していき、ディップの深さ(変化率)も深くなっていくが、逆に前の時の測定よりも浅くなっている箇所がある。これはノイズや測定装置の違いによるものとおもわれる。また図3においてA-3では極端にディップが浅くなっているが、これはクライストロンを交換したためである。ほとんどのクライストロンのディップの深さは5%以内におさまっている。またディップの深さの増加が急激に上がったところも無い。ただディップの深さは浅くても、測定ごとに確実に深さの割合が増加しているものがある。エミ減はある時期から急激に進むのでこのようなクライストロンは交換の対象となる。図4にそのようなクライストロンのディップの変化を示す。時間とともにディップが深くなっていきカソードが劣化していくのがわかる。図3の印を付けたものが今年度交換を実施する予定のものである。全体的にクライストロンのディップの深さは、少しずつではあるが増加しており、経年的にヒータの活性度が低下していると言える。これらのクライストロンはまだ顕著なエミ減の傾向を示していないが、引き続き定期的にディップ試験を行い監視するとともに、蓄積した測定結果をデータベース化する予定である。

4. まとめ

ディップ試験を用いれば、全クライストロンのヒータの活性度の測定を短期間に、ビーム運転に影響を与えずに、出来ることが分かった。試験は4回とも運転の空き時間を利用して行ったもので、かなり時間的に制約を受けたが、順調に試験を終了した。多数のクライストロンのカソードの活性度の測定を迅速に行う為の手段としてディップ試験は非常に有効である。測定毎のディップの変化率を観察する事によりカソードの劣化を判定することができ、それによりクライストロンがエミ減で完全に使用不能になる前に交換する事が容易になる。また自動化した事により測定も簡単に速く行えるようになった。

5. 今後の課題

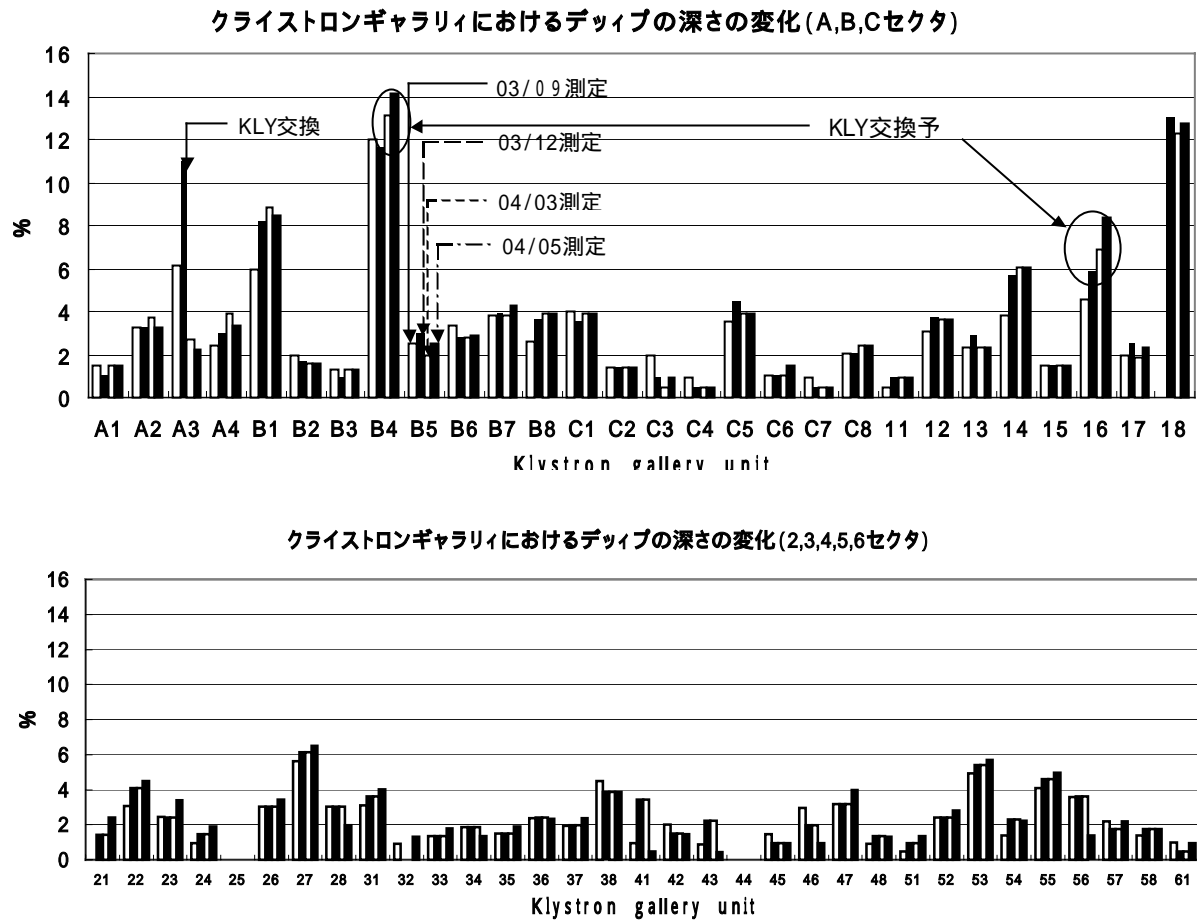


図3：クライストロンギャラリーにおけるディップ試験の結果

この4回の試験中、データが取れなかったクライストロンが数本あった。これは時間的な問題ではなく電源のノイズ等によるLab Viewの誤動作の問題であった。そのためまだプログラムの改良の余地がある。またノイズに対する対策を講じ、より正確にデータを収集する事が望まれる。

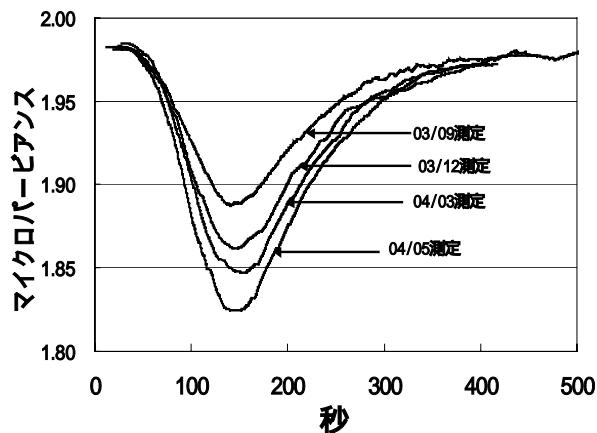


図4:1-6のクライストロンのディップの変化

参考文献

- [1] 中尾、他、“大電力クライストロンのヒータ特性測定の為のディップ試験”, Proc of the 28th Linear Accelerator Meeting in Japan, 2003, pp.360-362.
- [2] Y. Imai, et al., “Maintenance Activity of RF Source in KEK Electron-Positron Linac”, presented in this meeting.
- [3] A.S.Gilmour jr., Ch.5 of “Principles of Traveling Wave Tube”, Artech House INC., 1994.
- [4] H.Katagiri, et al., “Data Taking System of the RF Measurement at KEK e⁺/e⁻ Injector Linac”, presented in this meeting.
- [5] Y.Ogawa, “Present Status of the KEK Electron/positron Injector Linac”, presented in this meeting.