

Dokumentenverlauf

Revision	Datum	Autor	Beschreibung
0.0	20.04.2011	H. G. Koenig	erste Ausgabe, rev. von H. Klingbeil

1.0 Einführung

Nach erfolgreicher Inbetriebnahme eines „feedback around the amplifier“ an der Anlage S08BE2 zur Verringerung der effektiven Shunt-Impedanz der Kavität, erfolgte im Rahmen der SIS-Maschinenexperimente am 02.04.2011 die Verifizierung des Effektes mit Ionenstrahl. Nach dem erfolgreichen Nachweis der Funktion kann dieses einfache passive Konzept – ohne eine zusätzliche Verstärkerstufe im Ringtunnel - auch für die geplanten SIS100 Beschleunigungseinheiten vorgesehen werden. Auch vom BINP wurde in einer Studie¹ eine vergleichbare Lösung für diese Kavitäten/Endstufen vorgeschlagen.

2.0 Versuchsbeschreibung

Die Versuche erfolgten mit Argon $^{40}\text{Ar}^{18+}$ -Strahl bei ca. 1.2×10^{10} Teilchen bei Injektion und ca. 0.6×10^{10} auf dem Extraktionsniveau. Der typische Stromverlauf ist in Abbildung 1 dargestellt. Drei Messmethoden zur Bestimmung der Strahlrückwirkung auf die Kavität wurden durchgeführt und ausgewertet. Dabei wurden jeweils zwei Durchläufe ohne und mit eingeschaltetem Feedback gegeneinander verglichen. In allen Fällen erfolgte keine Amplitudenregelung an der zu testenden Kavität:

1. Auswertung der relativen Gap-Spannungsdifferenz bei Resonanz an der passiv auf fester Frequenz eingestellten Kavität über der **Frequenzrampe**.
2. Auswertung der relativen Gap-Spannungsdifferenz bei Resonanz an der passiv auf fester Frequenz eingestellten Kavität auf dem **Flattop**.
3. Auswertung der relativen Gap-Spannungsdifferenz bei aktiv auf Eigenfrequenz geregelter Kavität über den **gesamten Zyklus**.

Der Quotient aus den Durchläufen ohne und mit Gegenkopplung gibt das direkte Maß der Reduzierung der Kavitätenimpedanz. Nach Normierung auf den jeweiligen Strahlstrom kann in beiden Fällen der effektive Wirkwiderstand aus der Sicht des Ionenstrahls ermittelt werden. Dieser Widerstand setzt sich aus dem transformierten Ausgangswiderstand des Generators/Verstärkers parallel zu dem Ersatzwiderstand der Kavitätenverluste² zusammen. Der Anteil der Kernverluste ist frequenz- und pegelabhängig. Zumindest die Frequenzabhängigkeit gilt leider auch für den Ausgangswiderstand des Verstärkers, da die Kreisverstärkung in der realisierten Schaltung von der Abstimmung eines mitlaufenden Gitterfilters/-resonators abhängt und diese gegenwärtig nur angenähert korrekt ist.

¹ V.S.Arbutov et al. „Spec. of the FAIR SIS100/300 and NESR RF System - Final Report“, BINP 2006

² Was da sind: Ferritverluste, dielektrische Verluste, Leitungsverluste...

Autor	Datum	Revision	Dateiname	Seite
Koenig, H. G.	20.04.2011	0.0	SIS18-MaschExp 020411 FB.doc	1/5

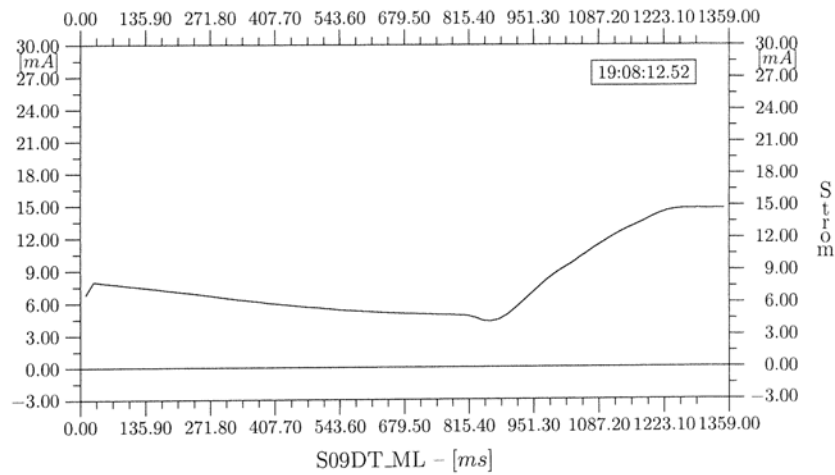
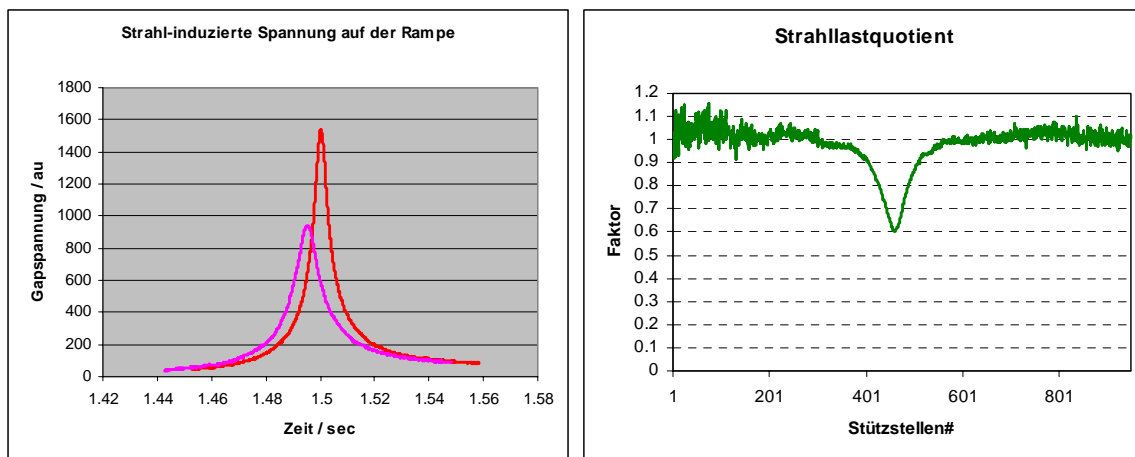


Abbildung 1: typischer DC-Stromverlauf eines Durchlaufs

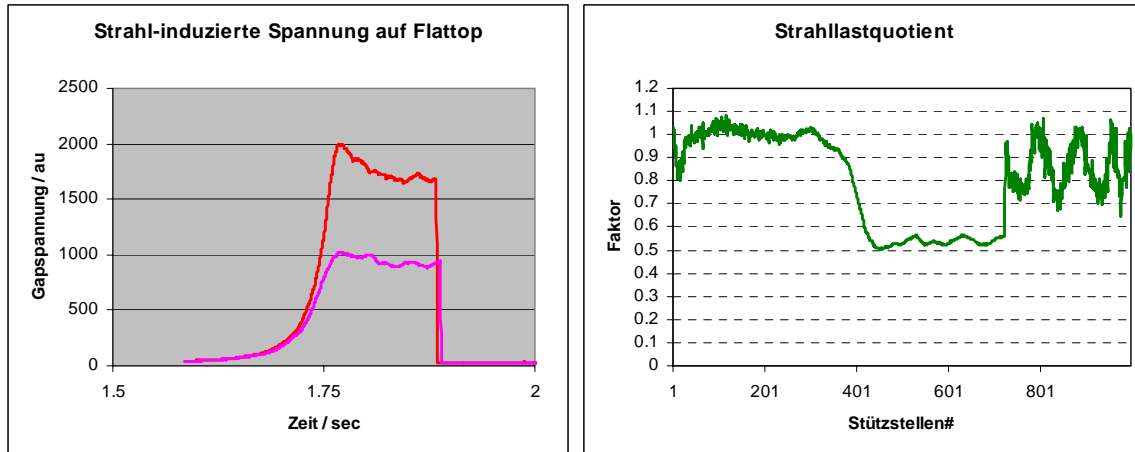
2.1 Resonanzmessungen auf der Frequenzrampe

Hier wird die getriebene Kavität mittels der Vormagnetisierung auf eine feste Frequenz eingestellt, während der Strahl mit der zweiten Kavität gebuncht und über die Rampe beschleunigt wird. Beim Durchgang durch die Resonanzfrequenz (hier willkürlich vorgegeben) wird eine Gapspannung in der untersuchten Kavität angeregt. In Abbildung 2 sind die beiden Kurvenverläufe – jeweils ohne und mit der Rückführung - über der Zeit dargestellt. Bringt man beide Kurven in zeitliche Koinzidenz und bildet den Quotienten, so erhält man in dessen Minimum den Unterdrückungsfaktor für die Impedanz mit ca.0.6!



*Abbildung 2: Resonanzanregung auf der Rampe bei ca. 3MHz
Abbildung 3: relative Strahllastreduktion auf das 0.6fache*

2.2 Resonanzmessungen auf dem Flattop



*Abbildung 4: Resonanzanregung auf Extraktionsniveau bei 3,62MHz
Abbildung 5: relative Strahllastreduktion auf ca. 0.55*

Im Gegensatz zur kurzen Resonanzanregung auf der Rampe, gelingt es auf dem Flattop des Extraktionsniveaus nach manuellem Abstimmen der Kavität, die Resonanzanregung über eine längere Dauer aufrecht zu erhalten. Die Auswertung geschieht ebenfalls grafisch und analog zu 2.1, wobei ein etwas günstigerer Wert von 0.55 gefunden wurde.

2.3 Messung über einen Zyklus

Als dritte und aufwändigere Methode zur Messung der Strahllastunterdrückung bei kleinen HF-Pegeln, wurde die getriebene Kavität mittels einer kleinen unregelmäßigen HF-Amplitude des Generators (als willkürlichen Offset³) über die aktive Eigenfrequenzregelung nun über die ganze Beschleunigungsrampe auf Resonanz gehalten. Um ein ‚detuning‘ unter Strahllast zu vermeiden, muss dabei die Phasenlage der Gapspannung an der getriebenen Kavität auf 90° nach- bzw. voreilend zur Beschleunigungsspannung gehalten werden. Hierfür wurde die Phasensynchronisation zwischen S02BE1 und S08BE8 entsprechend eingestellt. Wird die Phase auf -90° gehalten, so addieren sich Generator- und Strahlstrom⁴, bei +90° wird die Kavität nur noch durch die Differenz von Generatorstrom abzüglich des Strahlstroms angeregt. Entsprechen ist die Auswertung vorzunehmen. Aus der Differenz des Amplitudenverlaufs erhält man die separierte Strahllast und aus der Summe den strahlbereinigten Anteil des Generators. Anschließend ist die Vorgehensweise entsprechen 2.1 und 2.2: Die Spannungs-Zeit-Kurven werden in Koinkidenz gebracht und die Werte mit Gegenkopplung durch die Amplituden ohne Feedback dividiert.

³ Aus Stabilitätsgründen muss jedoch dabei $I_{g, HF} > I_{b, HF}$ sein – siehe auch Fussnote ³

⁴ Hier ist vom Bunchstrom der spektrale Anteil auf der Resonanzfrequenz anzusetzen – $I_{b, HF} \approx 2 \times I_{b, DC}$.

Autor	Datum	Revision	Dateiname	Seite
Koenig, H. G.	20.04.2011	0. 0	SIS18-MaschExp 020411 FB.doc	3/5

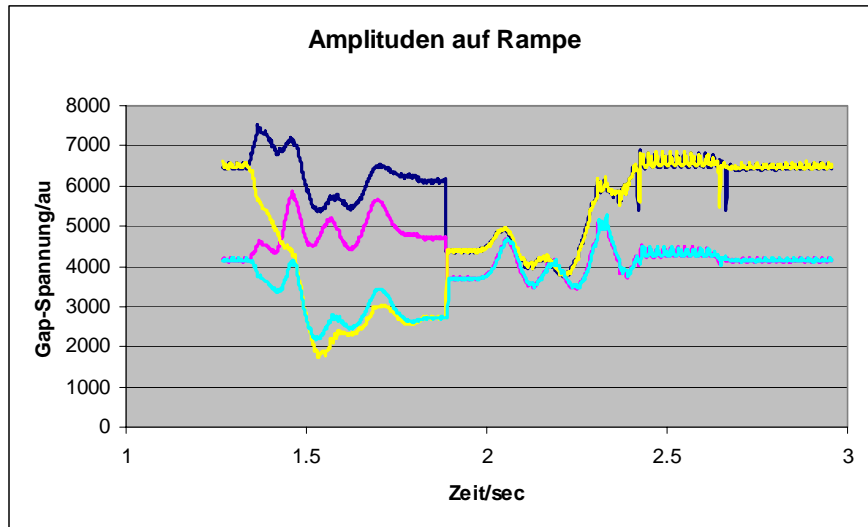


Abbildung 6: Gapspannungsverlauf an S08BE2 mit Eigenfrequenzregelung

Schwarz:	-90°	Feedback aus
Gelb:	+90°	Feedback aus
Magenta:	-90°	Feedback ein
Cyan:	+90°	Feedback ein

Aus der Differenz von schwarzer und gelber Kurve (die beiden ‚oberen‘ in Abb. 6) ergibt sich in Abbildung 7 der obere Verlauf für das abgeschaltete Feedback und aus dem zweiten Paar die Amplitudenwerte der Strahllast mit Gegenkopplung der untere. Die Offsetwerte des Generators sind der Abbildung 8 zu entnehmen. Den Restwelligkeiten über der Frequenzrampe müssen unterschiedlichen Ursachen zugeschrieben werden. In Abb. 8 sind die Einflüsse sicher in der Übertragungsstrecke zwischen Treiber und Endstufe zu suchen, wobei ohne eine übergeordnete Regelung reflexionsbedingte Amplitudengänge

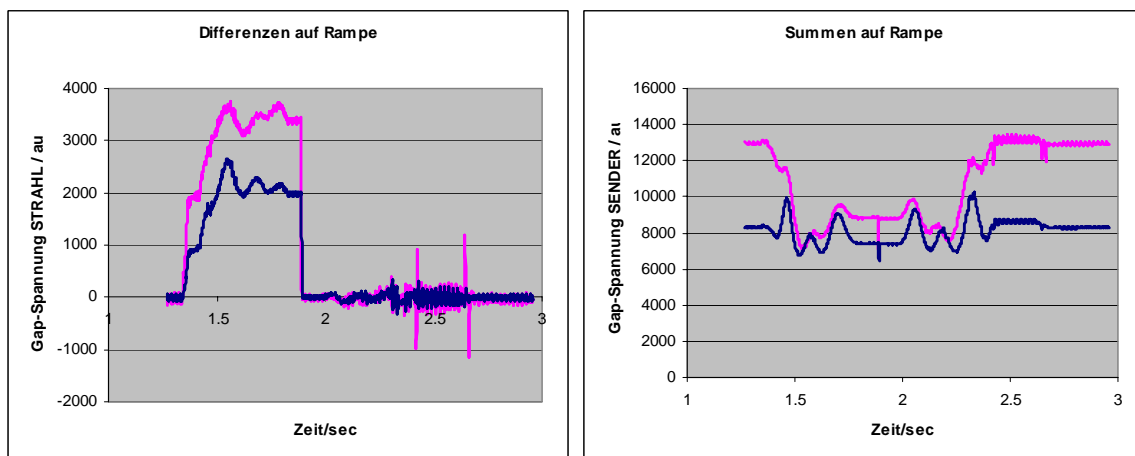


Abbildung 7: Anteil der Strahllast – ohne und mit Feedback

Abbildung 8: Anteil der Generatorspannungen – ohne und mit Feedback

Autor	Datum	Revision	Dateiname	Seite
Koenig, H. G.	20.04.2011	0. 0	SIS18-MaschExp 020411 FB.doc	4/5

auftreten können. Bemerkenswert ist auch ein deutlicher Einfluss der Rückkopplung auf die mittlere Amplitude der Gapspannung. Hier übernimmt das Feedback direkt an der Endstufe auch die Aufgabe einer Amplitudenregelung, wobei diese die vorgenannte Welligkeit lediglich als Sollwert interpretiert. Im Übrigen ändern sich die Verhältnisse zwischen Gitterfilter (Standardbetrieb) und mitlaufendem Gitterresonator⁵ bei Feedback ein wenig, so dass man nur über eine gewichtete Differenzbildung die Frequenzabhängigkeit der Wirkimpedanz gut darstellen kann (Abbildung 10).

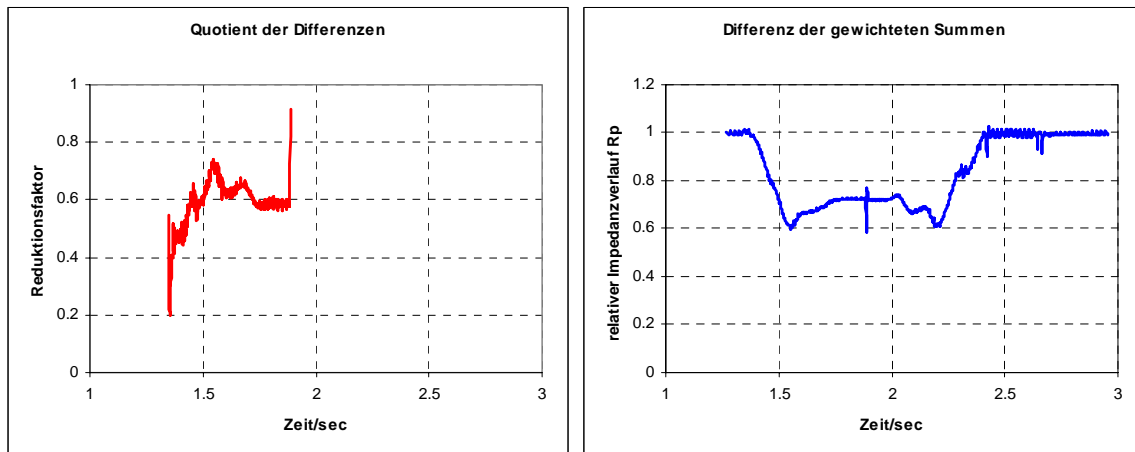


Abbildung 9: relative Strahllastreduktion über dem Zyklus
Abbildung 10: angenäherter Verlauf von R_p über dem Zyklus

Aus Abbildung 9 kann man nun die Wirkung der Gegenkopplung über einen Zyklus entnehmen. Anfänglich liegt der Unterdrückungsfaktor bei 0.5 und nach einem leichten Anstieg wird auf dem Extraktionsniveau wieder der Faktor von 0.6 erreicht. Aussagen auf der eigentlichen Beschleunigungsrampe sind durch die Verlagerung der Bunche aus der 90°-Position nicht mehr trivial, da hier die Eigenfrequenzregelung die Kavität etwas verstimmt. So ist die erkennbare Welligkeit ebenfalls noch nicht erklärt.

3.0 Zusammenfassung

Es konnte gezeigt werden, dass eine einfache Gegenkopplung der Gapspannung auf einen mitlaufenden Gitterresonator mit dem Übersetzungsverhältnis 1:2 die Impedanz der Kavität praktisch halbiert und dieses System über den gesamten Frequenzbereich des SIS18 von 0.85 bis 5.4MHz stabil zu betreiben ist. Dies wurde anhand dreier Methoden im Strahlbetrieb bestätigt. Die wertmäßige Bestimmung der wirksamen Impedanz der Kavität S08BE1 erfolgt an anderer Stelle. Nach Umrüstung der zweiten Beschleunigungseinheit S02BE1 nach diesem Muster, kann das Feedback dem Betrieb übergeben werden. Dazu muss noch geklärt werden, ob diese Funktion permanent eingeschaltet bleibt oder über Fernsteuerung vom HKR aus bedienbar gemacht werden soll.

⁵ Es ergeben sich zudem auch etwas differierende Gesamtverstärkungen, welche unberücksichtigt bleiben.

Autor	Datum	Revision	Dateiname	Seite
Koenig, H. G.	20.04.2011	0. 0	SIS18-MaschExp 020411 FB.doc	5/5