Methode zur Messung der Stromdichteverteilung und der Emittanz gepulster Elektronenstrahlen

Method of Measuring the Current
Density Distribution and
Emittance of Pulsed Electron Beams

H.-B.Schilling

IPP 0/40

Juli 1979



MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR PLASMAPHYSIK

8046 GARCHING BEI MÜNCHEN

MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR PLASMAPHYSIK

GARCHING BEI MÜNCHEN

Methode zur Messung der Stromdichteverteilung und der Emittanz gepulster Elektronenstrahlen

Method of Measuring the Current

Density Distribution and

Emittance of Pulsed Electron Beams

H.-B.Schilling

IPP 0/40

Juli 1979

Die nachstehende Arbeit wurde im Rahmen des Vertrages zwischen dem Max-Planck-Institut für Plasmaphysik und der Europäischen Atomgemeinschaft über die Zusammenarbeit auf dem Gebiete der Plasmaphysik durchgeführt.

IPP 0/40

H.-B. Schilling

Method of Measuring the Current Density Distribution and Emittance of Pulsed Electron Beams

Abstract

This method of current density measurement employs an array of many Faraday cups, each cup being terminated by an integrating capacitor. The voltages of the capacitors are subsequently displayed on a scope, thus giving the complete current density distribution with one shot. In the case of emittance measurements, a moveable small-diameter aperture is inserted at some distance in front of the cup array. Typical results with a two-cathode, two-energy electron source are presented.

merscheidet,

lfe einer nac

den**satoren a**bge

das Strahlprot

. Prakt. Aus**führung**

Analogte

dem Faraday-Cup ist entsprechend Fig.

eordnet.

1. Einleitung

Das punktweise Ausmessen der Stromdichteverteilung eines gepulsten Elektronenstrahls mit Hilfe eines verschiebbaren Auffängers ist ein mühsames und zeitraubendes Verfahren. Kommen dazu noch statistische Schwankungen bzw. systematische Änderungen der Strahleigenschaften, so ist diese Methode mit großen Unsicherheiten behaftet. Deshalb wurde hier eine Anordnung aus vielen Faraday-Cups gewählt, welche mit einem Schuß die Information über die Stromdichteverteilung liefert.

2. Meßmethode

Wegen der Vielzahl der für die Messung benötigten Faraday-Cups (in unserem Fall wurden 84 Cups verwendet), ist es nicht möglich, den zeitlichen Verlauf aller Signale gleichzeitig zu beobachten. Daher ist es sinnvoll, eine Reduktion des Datenflusses vorzunehmen. Zu diesem Zweck wurde jeder Faraday-Cup mit einer Kapazität versehen, welche die gesamte während eines Impulses auftreffende Ladung speichert und für die anschließende Auswertung bereithält. Dabei wird vorausgesetzt (was gesondert nahezu bestätigt werden konnte), daß der zeitliche Verlauf der Elektronenstromdichte für verschiedene Kanäle sich nicht stark unterscheidet, so daß von der gemessenen Ladungsverteilung auf die mittlere Stromdichteverteilung geschlossen werden kann. Mit Hilfe einer nachfolgenden Auswerteschaltung wird die Ladung der Kondensatoren abgefragt und in Form einer Folge von Schnitten durch das Strahlprofil auf dem Oszillografenschirm dargestellt. odokalp arodanabnow-kn com na skaza

3. Praktische Ausführung

3.1 Analogteil appear medal pensus

Jedem Faraday-Cup ist entsprechend Fig.1 eine Eingangsschaltung zugeordnet.

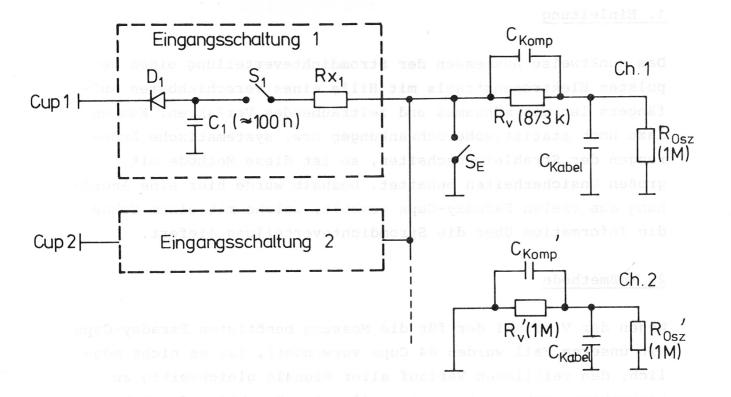


Fig.1: Analogteil

Durch die Kondensatoren C erfolgt die Integration des an den Cups auftreffenden Stromes. Um eine Entladung der Kondensatoren infolge einer möglicherweise vor den Faraday-Cups entstehenden Plasmawolke zu verhindern, wurden die Dioden D vorgesehen. Durch die Relaisschalter S werden die Kondensatoren nacheinander über $R_{\rm x}$ und $R_{\rm v}$ mit dem Oszillografeneingang verbunden. Die Widerstände $R_{\rm x}$ dienen zum Ausgleich der Kapazitätstoleranzen und wurden so gewählt, daß sich am Oszillografeneingang die Hälfte der Spannung eines exakten 100 nF-Kondensators gleicher Ladung ergibt.

Signalverzerrungen durch die Kapazität des Meßkabels zum Oszillografen werden durch $C_{\rm comp}$ ausgeglichen. Wegen der unübersichtlichen Endungsverhältnisse am Experiment und wegen der teilweise geringen Signalhöhe erfolgt die Messung als Differenzmessung gegenüber der Masse des Analogteiles über $R_{\rm v}$ ' und $C_{\rm komp}$ '.

Der Schalter S_{E} dient zur Entladung der Kondensatoren nach beendeter Messung.

3.2 Abfrageansteuerung

Der Aufwand für die Ansteuerung der Reedrelais zur Abfrage der Meßwerte kann klein gehalten werden, wenn eine Matrix-Anordnung gewählt wird (vgl. Fig.2).

Nach der Triggerung der Anordnung durch einen + Gate-Impuls vom Oszillografen schaltet die Ablaufsteuerung zunächst den Abfrageoszillator ein. Der Spaltenzähler zählt nun fortlaufend von O bis 9, wobei bei jedem Erreichen der Null der Zeilenzähler weiter geschaltet wird. Der Zählerstand der beiden BCD-Zähler wird dezimal dekodiert, damit für jede Spalte und Zeile ein Ausgang zur Verfügung steht. Eingeschaltet ist jeweils das Relais, dessen Zeilenleitung Hi-Potential, und dessen Spaltenleitung Lo-Potential führt. Eine Anzugsverzögerung in den Spaltenleitungen verhindert eine Überschneidung der Einschaltzeiten. Nach Abschluß des Abfragezyklus läuft der Abfrageoszillator noch einige Zyklen weiter. Während dieser Zeit wird der Schalter $S_{\rm E}$ geschlossen, um die Eingangskondensatoren wieder zu entladen. Das anschließende Rücksetzen der Zähler auf Kanal 99 beendet die Vorbereitungen für die nächste Messung.

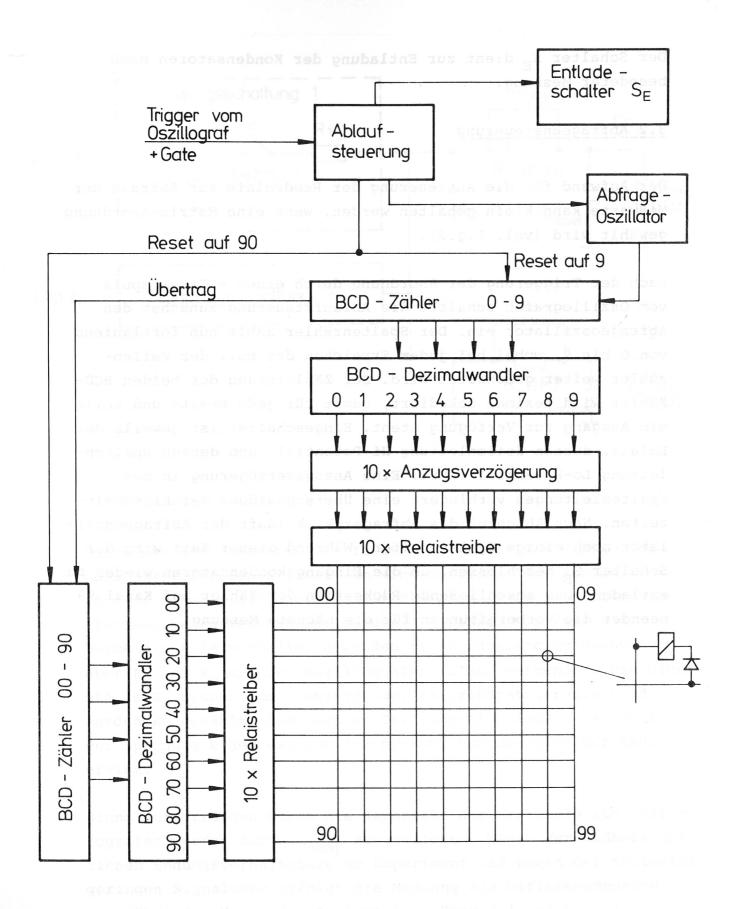
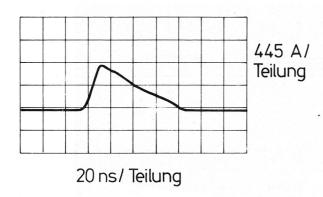


Fig.2: Abfrageansteuerung

4. Typische Meßergebnisse

Die beschriebene Meßmethode wurde bei der Entwicklung einer Elektronenquelle mit erhöhter instantaner Energiebreite eingesetzt. In der untersuchten Anordnung wird die Energieverbreiterung durch die Verwendung von 2 getrennten Kathodenelementen bewirkt, von denen eines direkt, das andere über einen Vorwiderstand mit dem Generator verbunden ist /1/.

Wesentlich für die erzielbare Meßgenauigkeit ist die Ausblendung der Strahlströme außerhalb des untersuchten Energiebereiches, d.h. während der Impulsflanken. Ein Vergleich von Fig.3 und Fig.4 zeigt, daß dies mit dem verwendeten Strahlführungssystem weitgehend erreicht wurde.



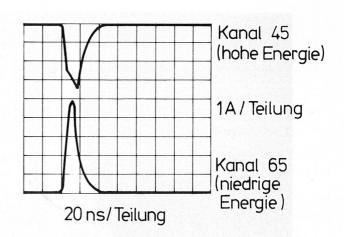


Fig.3: Gesamtstrom am Röhrenausgang

Fig.4: Zeitaufgelöste Strommessung an zwei Elementen des Vielfach-Cups

4.1 Messung der Stromdichteverteilung

Die Faraday-Cups wurden so auf die Meßkanäle verteilt, daß sich bei der Darstellung Fig.5 eine Folge von horizontalen Schnitten durch das Strahlprofil ergibt. Zur leichteren Orientierung wurden die Kanäle OO, 10 usw. nicht belegt.

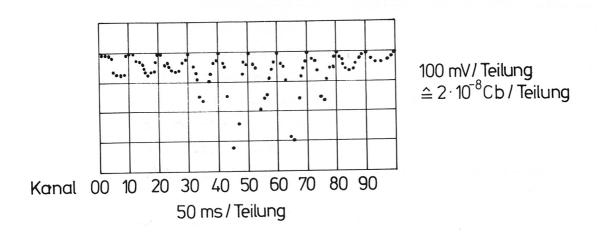


Fig.5: Oszillogramm einer typischen Stromdichteverteilung In Fig.6 wurde die sequentielle Darstellung zu einer räumlichen Darstellung der Stromdichteverteilung umgezeichnet.

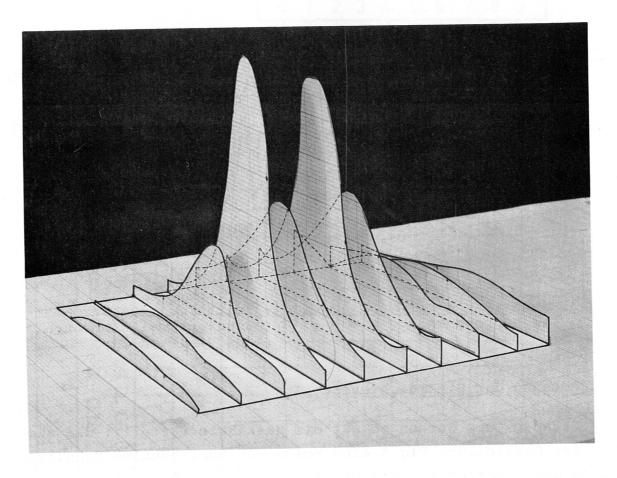


Fig.6: Räumliche Darstellung der Stromdichteverteilung nach Fig.5

4.2 Emittanzmessung

Für die Emittanzmessung wurde eine über den Strahlquerschnitt verschiebbare Blende mit 2 mm Durchmesser verwendet. Der Vielfach-Cup wurde in 25 cm Entfernung von der Blende angeordnet. Wegen der wesentlich geringeren Stromdichte bei der Emittanzmessung wurde die Fläche der einzelnen Cups von 0,5 mm² auf 10 mm² erhöht. Fig.7 zeigt ein typisches Oszillogramm.

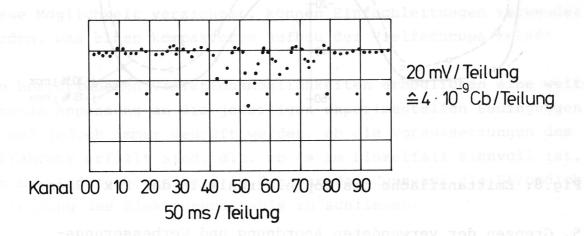


Fig.7: Typisches Oszillogramm bei der Emittanzmessung

Die Kanäle 00, 10 usw. wurden dabei durch gleiches negatives Potential gekennzeichnet. Aus mehreren derartigen Einzelmessungen wurden die Emittanzflächen ermittelt, wobei als Berandung 15 bzw. 30 Prozent der maximal auftretenden Stromdichte gewählt wurde.

Als Beispiel wird hier die Emittanzfläche in der x-x'-Ebene wiedergegeben.

Ourch die auf dem Verbindungskabel kom Oseilavstaten gespeichert Ladung kommt es zu einem Übersprechen jedes Kanals auf den nächs Folgenden. Dieser Effekt, der bei der verwendeten Anordnung ca.

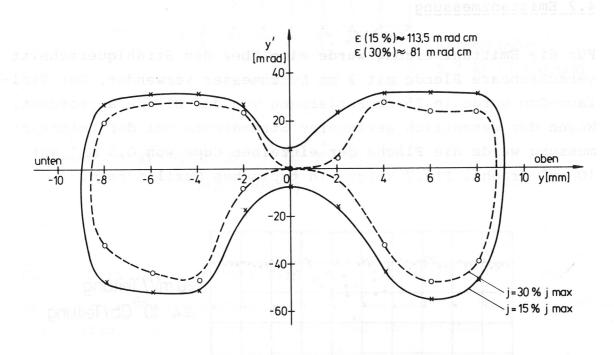


Fig.8: Emittanzfläche des Doppelstrahls in der x-x'-Ebene

5. Grenzen der verwendeten Anordnung und Verbesserungsmöglichkeiten

Wie man aus Fig.7 erkennt, wird die Empfindlichkeit der Anordnung bei geringen Stromdichten durch Schwankungen des Nullsignals begrenzt. Diese Störungen werden überwiegend durch Einkopplungen über Masseleitungen und Streufelder sowie durch galvanische Effekte der Kondensatoren hervorgerufen. Eine wesentliche Erhöhung des Nutzsignals kann durch Verkleinern der Eingangskapazitäten erzielt werden. Dann ist jedoch auch eine entsprechende Verkürzung der Abfragedauer (bisher 5 ms/Kanal) erforderlich. Dies ist möglich, wenn man die Abfragerelais durch (inzwischen preisgünstig erhältliche) integrierte Analogschalter ersetzt.

Durch die auf dem Verbindungskabel zum Oszillografen gespeicherte Ladung kommt es zu einem Übersprechen jedes Kanals auf den nächstfolgenden. Dieser Effekt, der bei der verwendeten Anordnung ca. 1% der Signalhöhe betrug, nimmt mit der Verkleinerung der Eingangskapazitäten zu. Er kann jedoch, ebenso wie die Impulsverschleifung bei höheren Abfragegeschwindigkeiten, durch einen Trennverstärker am Kabeleingang beseitigt werden.

Das örtliche Auflösungsvermögen kann (unter Verringerung der Empfindlichkeit) durch eine höhere Packungsdichte der Faraday-Cups verbessert werden. In unserem Fall wurden die Dimensionen durch die Koaxialkabel zu den Cups bestimmt, welche für die zeit-aufgelöste Messung einzelner Kanäle benötigt wurden. Wenn man auf diese Möglichkeit verzichtet, können Einfachleitungen verwendet werden, was einen kompakteren Aufbau des Vielfachcups zuläßt.

Die beschriebenen Variationsmöglichkeiten ermöglichen eine weitgehende Anpassung an die jeweiligen experimentellen Bedingungen.
Es muß jedoch immer geprüft werden, ob die Voraussetzungen des
Verfahrens erfüllt sind, d.h. ob es im Einzelfall sinnvoll ist,
von der Ladungsverteilung an den Faraday-Cups auf die Stromdichteverteilung des Elektronenstrahls zu schließen.

Der Autor dankt Herrn Dr. U. Schumacher und Herrn J. Fink für ihre Beratung und die Unterstützung bei der Vorbereitung und Durchführung der Messungen.

Literatur

/1/ J. Fink, H.-B. Schilling, U. Schumacher, Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching, Laborbericht IPP 0/41