

DESY-Bibliothek

DESY A 2.25

Hamburg, den 8. Mai 1960

M 3 - Dr.Scha/Schw.

Überblick über verschiedene Möglichkeiten der Cavity-Speisung
innerhalb einer Beschleunigungseinheit

Die zur Teilchenbeschleunigung dienenden HF-Kreise sind beim Synchrotron in mehreren Gruppen zusammengefaßt. Für DESY sind 14 solche Gruppen vorgesehen. Innerhalb einer Gruppe muß der Phasenunterschied nebeneinanderliegender Cavities, deren Beschleunigungsspalte im Abstand a (= Länge der Cavities) aufeinander folgen,

$$\alpha_V - \alpha_{V-1} = 2\pi \frac{a}{\lambda}$$

(λ = Wellenlänge)
 $V = 2, 3, \dots, n$; $n = \text{Anz. Cav./Gruppe}$

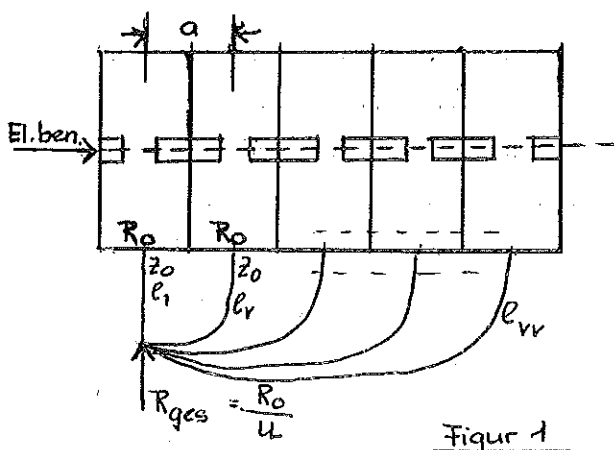
sein, wenn Elektronen beschleunigt werden sollen, deren Geschwindigkeit nur um einen vernachlässigbaren Betrag von der Lichtgeschwindigkeit abweicht.

Zur phasenrichtigen Speisung der Cavities sind mehrere Verfahren möglich. Man kann einen grundsätzlichen Unterschied darin erblicken, ob die Cavities einer Gruppe durch äußere oder durch innere Koppellemente miteinander verbunden sind.

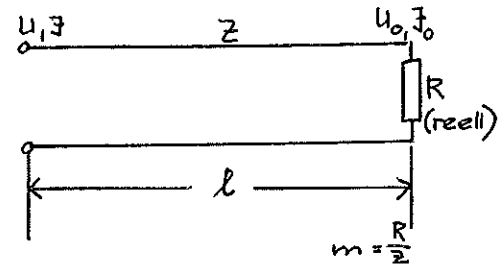
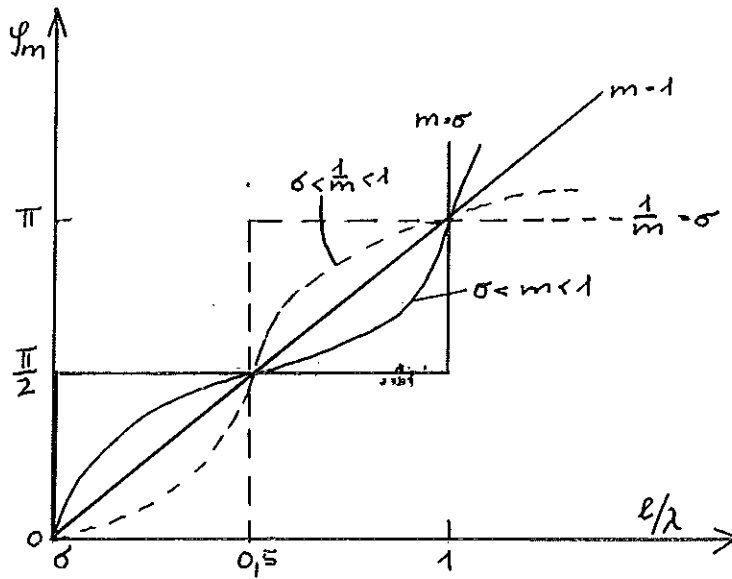
A. Anordnungen ohne (oder mit vernachlässigbarer) innerer Kopplung der Cavity-Gruppe

In diesem Falle ist für jedes Cavity eine gesonderte Zuleitung erforderlich. Die phasenrichtige Speisung kann man dadurch erreichen, daß man die elektrisch wirksame Länge der Zuleitungen so bemißt, daß

$$l_V - l_{V-1} = a \quad V = 2, 3, \dots, n$$



Voraussetzung hierbei ist, daß die Zuleitungen durch den Eingangswiderstand der Cavities wellenwiderstandsrichtig abgeschlossen sind, d.h. daß $m = R_0/Z_0 = 1$ sein muß, da nur dann ein linearer Zusammenhang zwischen Phase und Leitungslänge besteht (vergleiche das umseitige Phasendiagramm).



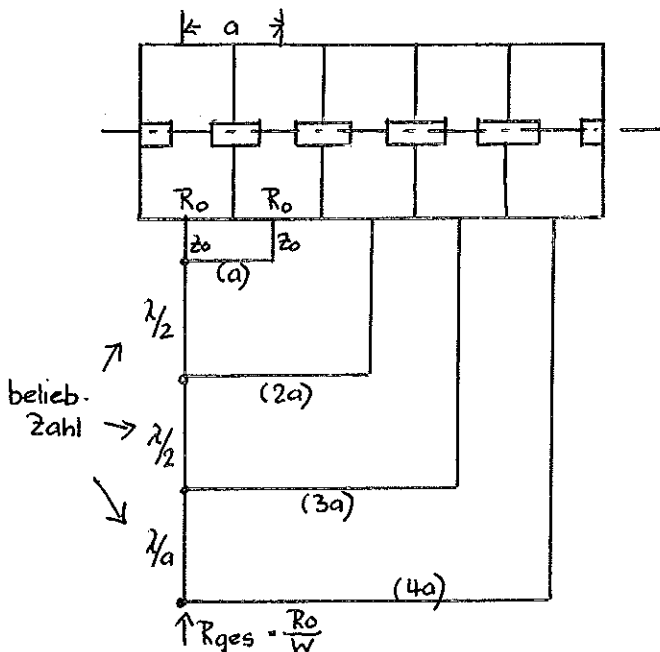
Figur 2

Phasendiagramm der angepaßten und fehlangepaßten Leitung (dargestellt ist die Spannungsphase bei reellem Abschlußwiderstand; die Stromphase gewinnt man durch Vertauschen von m mit $1/m$)

$$U = U_0 \left(\cos \frac{2\pi l}{\lambda} + j \frac{1}{m} \sin \frac{2\pi l}{\lambda} \right); \quad \text{Spannungsphase } \varphi_U = \arctg \left(m \cdot \tg \frac{2\pi l}{\lambda} \right)$$

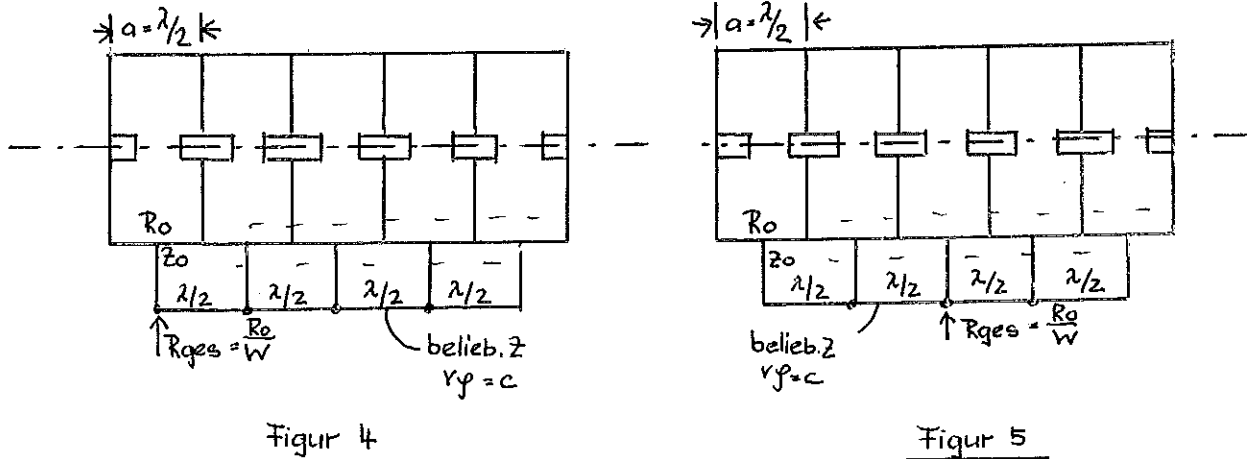
$$I = I_0 \left(\cos \frac{2\pi l}{\lambda} + j m \sin \frac{2\pi l}{\lambda} \right); \quad \text{Stromphase } \varphi_I = \arctg \left(\frac{1}{m} \cdot \tg \frac{2\pi l}{\lambda} \right)$$

Anstelle einer einzigen Mehrfachverzweigung kann auch eine Abzweigschaltung aufgebaut werden, wenn man die Eigenschaft der $\lambda/2$ -Widerstandstransformation ausnützt:



Figur 3

Eine vereinfachte Abzweigschaltung kann angewandt werden, wenn $a = \frac{\lambda}{2}$ ist, d.h. die Länge eines Cavities gleich der halben Wellenlänge entspricht. Voraussetzung ist jedoch außerdem, daß die Phasengeschwindigkeit in der Speiseleitung mit der Lichtgeschwindigkeit hinreichend genau übereinstimmt (Fig. 4 und 5).



Die Vorteile der bisher geschilderten Anordnungen sind die einfache und sichere Abstimmkontrolle, beispielsweise mittels Richtkoppler in jeder Leitung.

Nachteilig bezüglich der Konstruktion wirken sich jedoch die große Anzahl von Speisestellen (Vakuumdurchführungen) und Verzweigungen aus.

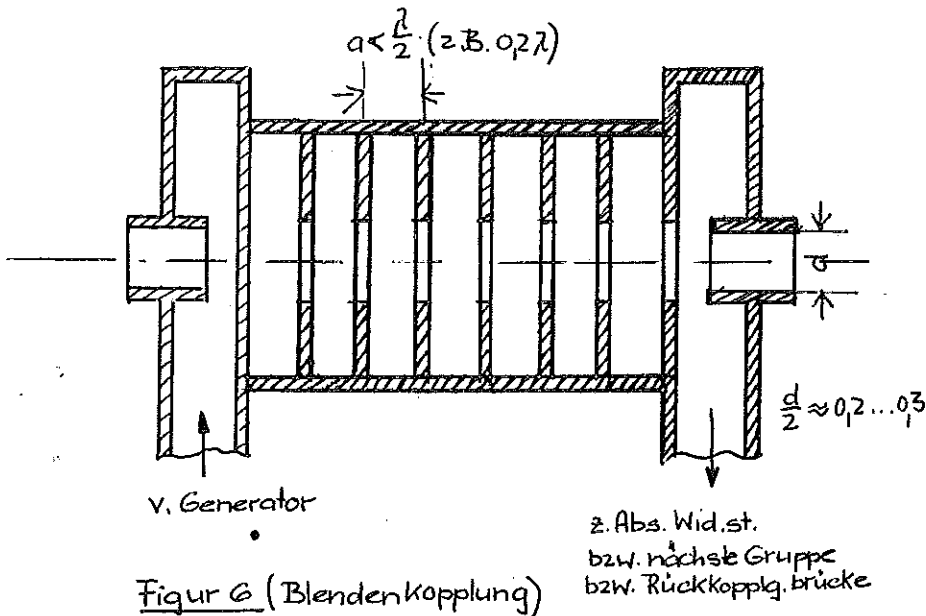
B. Anordnungen mit innerer Kopplung der Cavity-Gruppe

Durch gegenseitige innere Kopplung der Cavities läßt sich die Zahl der Speisestellen reduzieren, jedoch wird die Abstimmkontrolle dadurch schwieriger.

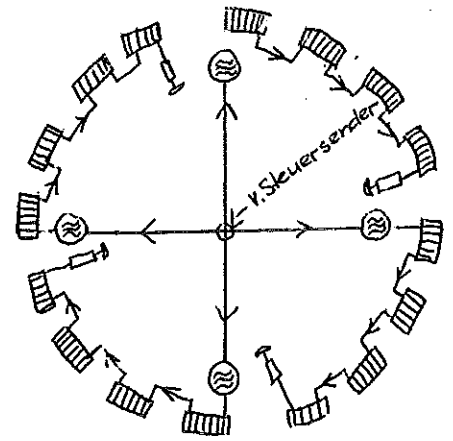
Für die Art der Kopplung bestehen folgende Möglichkeiten:

1. Lochkopplung (Blendenkopplung)
2. Schlitzkopplung
3. Schleifenkopplung

Die Konstruktion und Wirkungsweise der Blendenkopplung (vergleiche umseitige Skizze) ist aus der Technik der Linearbeschleuniger bekannt.



Figur 6 (Blendenkopplung)



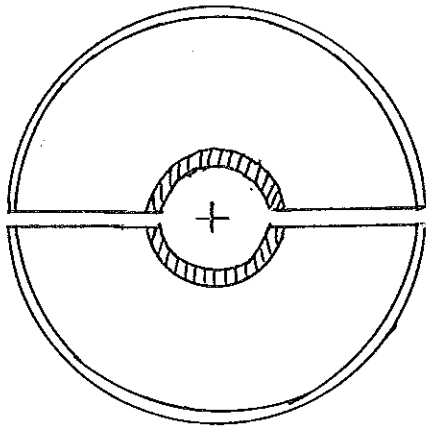
Figur 7

Die Beschleunigung der Teilchen mit einer nur in einer Richtung fortschreitenden Welle, in ähnlicher Form wie es beim Linearbeschleuniger geschieht, ist grundsätzlich auch beim Synchrotron möglich. Allerdings ist wegen der verhältnismäßig kurzen Beschleunigungsabschnitte die Dämpfung pro Abschnitt sehr gering, so daß - um Reflexionsstörungen zu vermeiden - entweder erhebliche Energie in Absorptionswiderständen vernichtet oder durch aufwendige Rückkopplungsschaltungen wieder nutzbar gemacht werden müßte; es könnten auch mehrere Beschleunigerabschnitte in Reihe geschaltet werden (Fig. 7), was jedoch ungleichmäßige Ausnutzung der gaps hinsichtlich der elektrischen Feldstärke zur Folge hätte.

Will man stehende Wellen, d.h. rechts- und linksläufige Wellen für die Beschleunigung ausnutzen, so muß die Anregung der Cavities in einem π -Modus, d.h. mit 180° gegenseitiger Phasenverschiebung erfolgen. In diesem Falle muß der Abstand der Beschleunigungsstrecken eine halbe Wellenlänge betragen.

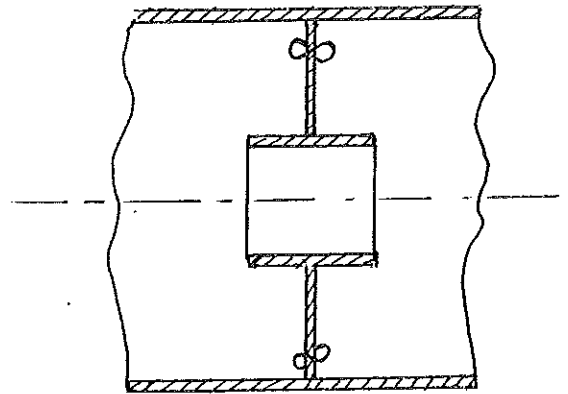
Zur Herabsetzung der Laufzeitdämpfung, welche bei $\lambda/2$ -gaps ca. 35 % betragen würde, kann die gap-Länge durch Einsetzen der in Fig. 1, 3, 4 und 5 bereits angedeuteten Driftstrecken verringert werden. Bei $\lambda/4$ -gaps beträgt die Laufzeitdämpfung noch etwa 10 %. Eine weitere Verkürzung der gaps empfiehlt sich aus verschiedenen Gründen nicht (Abnahme des Resonanzwiderstandes, Ansteigen der Feldstärke, Herabsetzung der kritischen Spannung für den Multipactor-Effekt beim Auftreten von Sekundärelektronen).

Die gegenseitige Kopplung der Cavities verringert sich durch das Einsetzen der Driftröhren erheblich, so daß zusätzliche Koppelglieder erforderlich werden. Diese können beispielsweise in Form von Schlitz (CEA) oder Stromschleifen ausgeführt sein. Es wäre natürlich auch eine kombinierte Anordnung denkbar.



Figur 8

Schlitzkopplung; Draufsicht
(geteilte Cavities)



Figur 9

Schleifenkopplung; Schnitt
(ungeteilte Cavities)

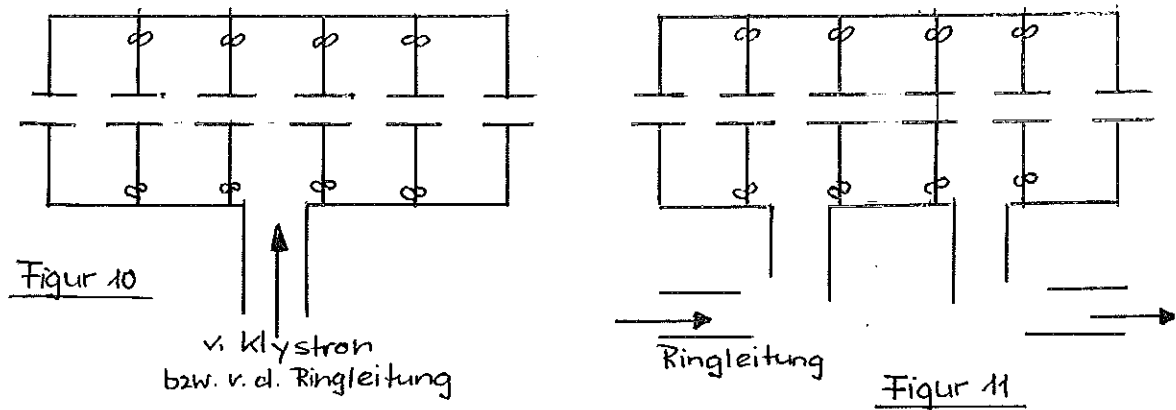
Die bei CEA gleichzeitig mit der Schlitzkopplung erreichte Teilung der Cavities hat noch den Zweck, unerwünschte Ladungsträger abzuführen, indem zwischen die beiden Hälften ein Gleichspannungspotential aufgebracht wird, und ferner den Austritt der Bremsstrahlung zu ermöglichen. Die Öffnung der Cavities bringt allerdings in anderer Hinsicht wieder erhebliche Nachteile mit sich, z.B. Frequenzeinfluß umliegender Teile, Verstimmung bei Abstandsänderungen, Möglichkeit der Unsymmetrie, Güteverminderung durch Abstrahlung.

Verzichtet man auf zusätzliche Maßnahmen zur Abführung vagabundierender Teilchen, so verspricht die Schleifenkopplung eine wesentlich einfachere und stabilere Konstruktion der Cavities. Unter Umständen kann in diesem Falle als Säuberungselektrode ein zwischen den Elektronen annähernd symmetrisch liegender Kupferring vorgesehen werden, welcher eventuel! auch gleichzeitig für die Abstimmkorrektur der Cavities benutzt werden kann.

Bei der Schleifenkopplung müssen mehrere aus breitem Kupferband hergestellte Schleifen, z.B. 12 Stück auf dem Umfang verteilt werden, um den störenden Einfluß der Streuinduktivität dieser Koppelglieder genügend weit herabzusetzen. Gegenphasige Anregung benachbarter Cavities bedingt S-förmige Schleifen.

Die Einspeisung einer schleifengekoppelten Cavitygruppe kann an sich an einem beliebigen Cavity geschehen; aus Symmetriegründen und zur Verringerung der nach beiden Richtungen möglichen Amplituden- und Phasenfehler erscheint jedoch eine Einspeisung an dem mittleren Cavity zweckmäßig (Fig. 10). Dies setzt eine ungerade Anzahl Cavities voraus. Der Anschluß an das Klystron oder die HF-Ringleitung erfolgt entweder durch koaxiales Kabel oder besser durch Rechteckhohlleiter.

Bei Vorhandensein einer HF-Ringleitung für die gemeinsame Versorgung aller Cavitygruppen kann auch die Ringleitung selbst etwa nach untenstehender Skizze durch die Cavitygruppen hindurchgeführt werden (Serienschaltung; Fig. 11).



Bei einarmiger Speisung (Parallelschaltung) müßte der Anschluß an die Ringleitung durch Schränkung des Zuführungsarmes oder durch Winkelführung der Ringleitung erfolgen (s.u.), da die Ringleitung in jedem Falle senkrecht zur Richtung des Beschleunigertunnels polarisiert ist.

