

KERNFORSCHUNGSZENTRUM

KARLSRUHE

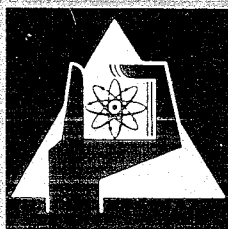
März 1969

KFK 1010

Labor für Elektronik und Meßtechnik

Entwicklung einer Meanderleitung mit einem
Wellenwiderstand $Z_0 = 100 \Omega$

P.M. Fischer, L. Husson



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

März 1969

K F K 1010

Labor für Elektronik und Meßtechnik

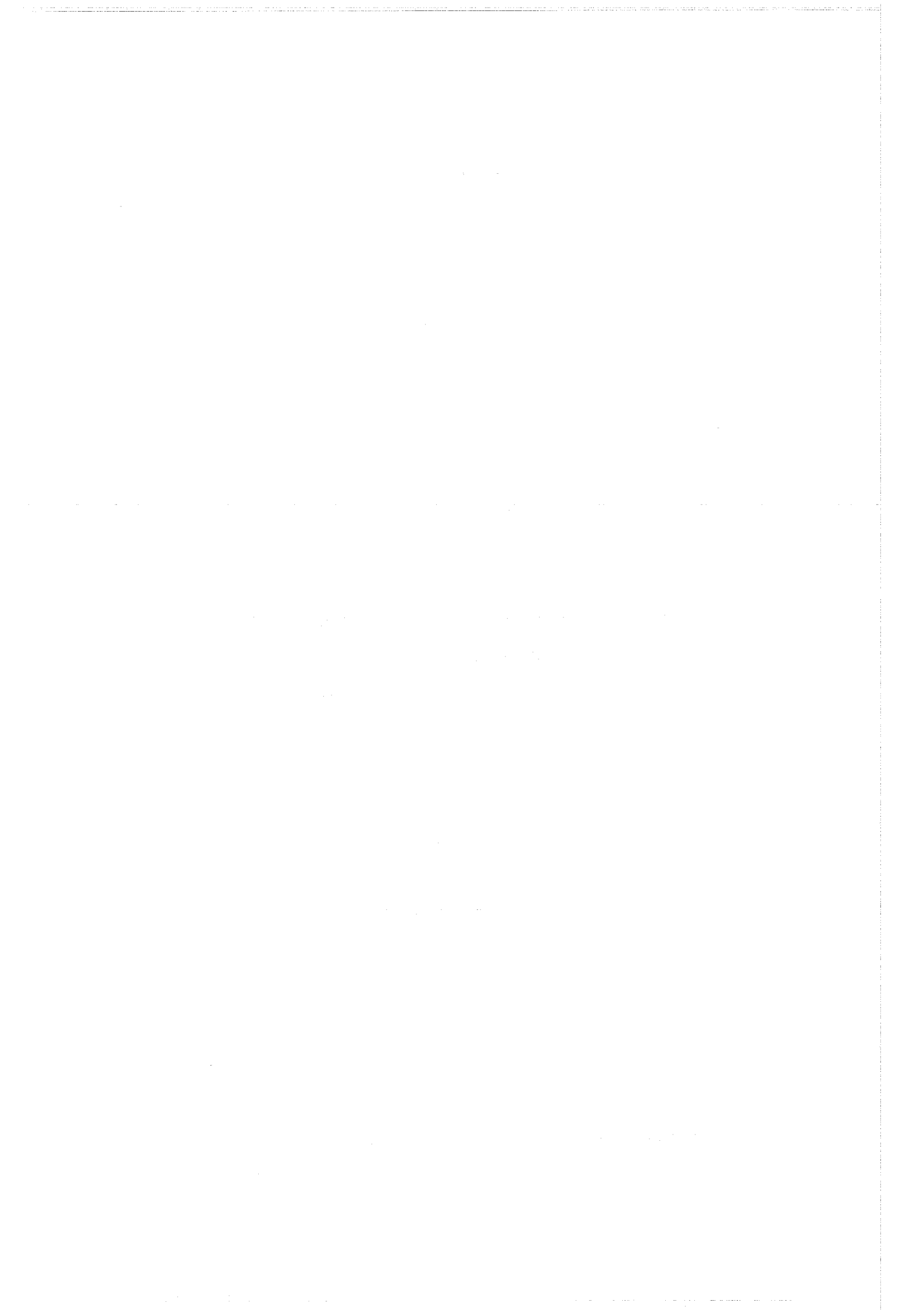
Entwicklung einer Meanderleitung mit einem
Wellenwiderstand $Z_0 = 100 \Omega$

von

P. M. Fischer

L. Husson

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M.B.H. KARLSRUHE



I n h a l t

1. Einleitung
2. Problemstellung
3. Anforderungen an die Meanderleitung
4. Ermittlung der geometrischen Abmessungen der Meanderleiterplatte
 - 4.1 Methode der kleinen Schritte
 - 4.2 Mathematische Methode
5. Meanderleiterplatte mit Kühlrohr
6. Laufzeit der Meanderleitung
7. Ausführungsform der Meanderleiterplatte
8. Zusammenfassung

L i t e r a t u r v e r z e i c h n i s

E i n l e i t u n g

Für den Einsatz im Zyklotron soll zur Auslenkung von Ionenimpulsen ein Ablenkssystem entwickelt werden. Ein wesentlicher Bestandteil eines solchen Ablenksystems ist eine Meanderleitung.

Die Entwicklung einer solchen Meanderleitung als elektrische Leitung mit einem Wellenwiderstand $Z_0 = 100 \Omega$ bei vorgegebener Einbaugeometrie wird beschrieben.

Bestandteil der Meanderleitung ist eine Meanderleiterplatte (Streifenleiterplatte). Die geometrischen Abmessungen dieser Meanderleiterplatte werden ermittelt. Die Ermittlung erfolgt einmal im Näherungsverfahren durch mathematische und experimentelle Iteration, zum anderen wird versucht, bei vorgegebenem Wellenwiderstand Z_0 diese Abmessungen direkt auf mathematischem Wege zu bestimmen.

2. Problemstellung

In einem Zyklotron werden Protonen beschleunigt und zwar werden Ionenimpulse in einem konstanten zeitlichen Abstand von z.B. ca. 30 ns erzeugt. Die Forderung sei gestellt, mit einem solchen Ionenimpuls zeitlich wahlweise ein Target zwecks Untersuchungen zu beschießen.

Aufgabe ist nun, jeweils einen gewünschten Ionenimpuls aus der Ionenimpulsstruktur des Zyklotrons heraus zu greifen, abzulenken und damit das Target zu beaufschlagen, ohne daß die nachfolgenden Ionenimpulse auch abgelenkt, beeinflußt werden.

Die Ablenkung eines Ionenimpulses kann so erfolgen, daß der Puls ein elektrisches Feld durchläuft. Um das elektrische Feld zu erzeugen, werden zum Beispiel in das Zyklotron zwei Metallplatten eingebracht, an die eine elektrische Spannung angelegt wird.

Diese Platten werden jedoch nicht als einfacher Kondensator ausgebildet, denn:
wird an diese Platten, den Kondensator, eine kurzzeitige elektrische Spannung gelegt, so wird zwar ein Ionenimpuls von der Ionenimpuls-Struktur des Zyklotrons ausgelenkt, jedoch wird bei Abschalten der elektrischen Spannung an den Platten, diese nicht schlagartig verschwinden, sondern allmählich nach einer e-Funktion abgebaut. Das wiederum hat zur Folge, daß die nachfolgenden Ionenimpulse (- diese folgen in einem zeitlichen Abstand von ca. 30 ns -) in ihrer Bahn beeinflußt, d.h. teilweise ausgelenkt werden.

Um diese Beeinflussung der nachfolgenden Ionenimpulse auszuschließen, wird das Ablenkensystem, die Metallplatten als elektrische Leitung ausgebildet. Die Auslenkung eines Ionenimpulses erfolgt auf folgende Weise:

während der Ionenimpuls die elektrische Leitung, das Ablenkensystem, durchheilt, läuft synchron mit dem Ionenimpuls auf dieser elektrischen Leitung ein Spannungsimpuls; dadurch wird das elektrische Feld erzeugt, das die Auslenkung des Ionenimpulses bewirkt. Die elektrische Leitung, das Plattensystem, ist mit ihrem Wellenwiderstand abgeschlossen, so daß nur während der Zeitdauer des Anstehens des Ablenkimpulses auf der elektrischen Leitung ein elektrisches Feld zur Auslenkung des Ionenimpulses vorhanden ist und daher eine Beeinflussung der nachfolgenden Ionenimpulse ausgeschlossen ist.

Die elektrische Leitung wird als meanderförmige Leitung ausgeführt, d.h. eine Platte wird als Massiv-Platte, die andere als Meanderleiterplatte ausgeführt; zwischen diesen Platten läuft (exakter fliegt) der Ionenimpuls hindurch.

3. Anforderungen an die Meanderleitung

Die Forderungen, die an das elektrische Leitungssystem gestellt werden, seien hier kurz zusammengefaßt.

- a) Die Zeitdauer des Ablenkimpulses beträgt ca. 10 bis 15 ns Fußbreite (siehe Abbildung 3.1). Der Ablenkimpuls muß deshalb so schmal sein, daß der nächste Ionenimpuls weder durch die Flanke des abklingenden Ablenkimpulses noch durch Reflexionen beeinflusst wird.

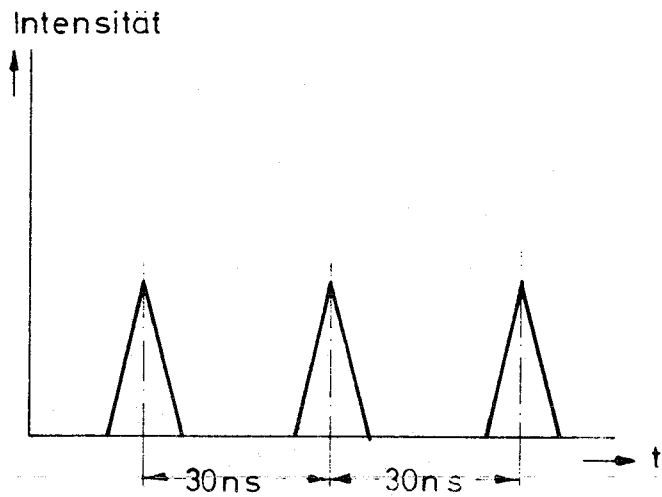
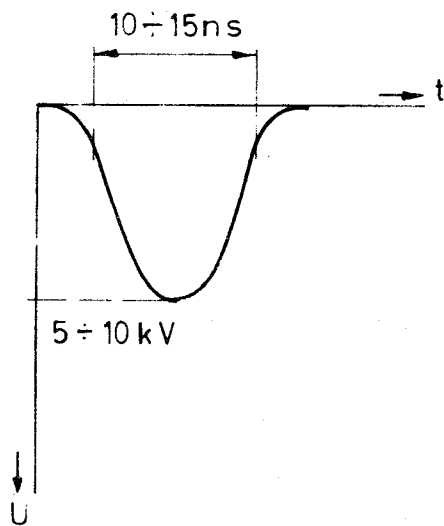


Abb 31a Ablenkimpuls

Abb 31b Impulsstruktur im Zyklotron

Für das Gesamtsystem kann eine Reflexion von $\leq 10 \%$ toleriert werden.

- b) Die Driftgeschwindigkeit des elektr. Feldes durch die Ablenkplatten soll etwa gleich der Geschwindigkeit der Teilchen, der Ionen, sein. Die Ionen und damit der Ionenimpuls benötigen nach Abb. 3.2 $11,4 \text{ ns}$, um die Platten zu durchlaufen. Die Meanderleitung muß daher für den Synchron-Ablenkimpuls eine Laufzeit von $11,4 \text{ ns}$ aufweisen.

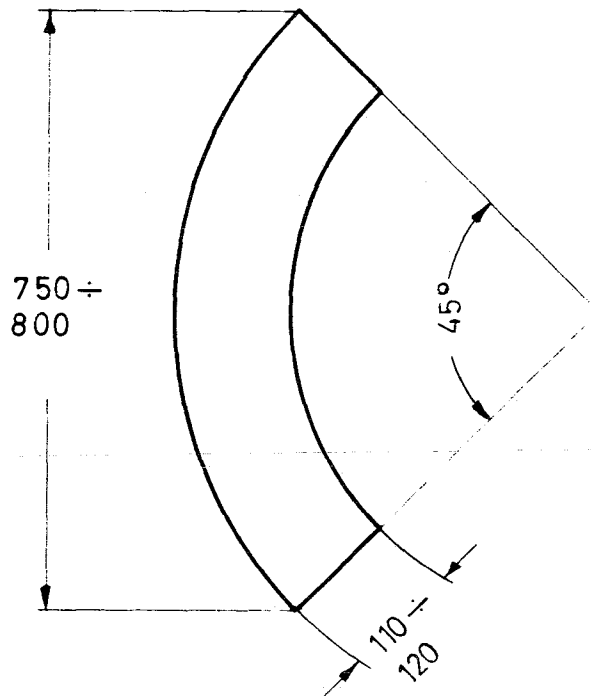


Abb. 3.2 Geforderte Abmessungen der Ablenkplatten

- c) Der Wellenwiderstand der elektrischen Leitung, der Ablenkplatten, soll unter Zugrundelegung der geometrischen Abmessungen nach Abb. 3.2 $Z_0 = 100 \Omega \pm 2 \%$ betragen.

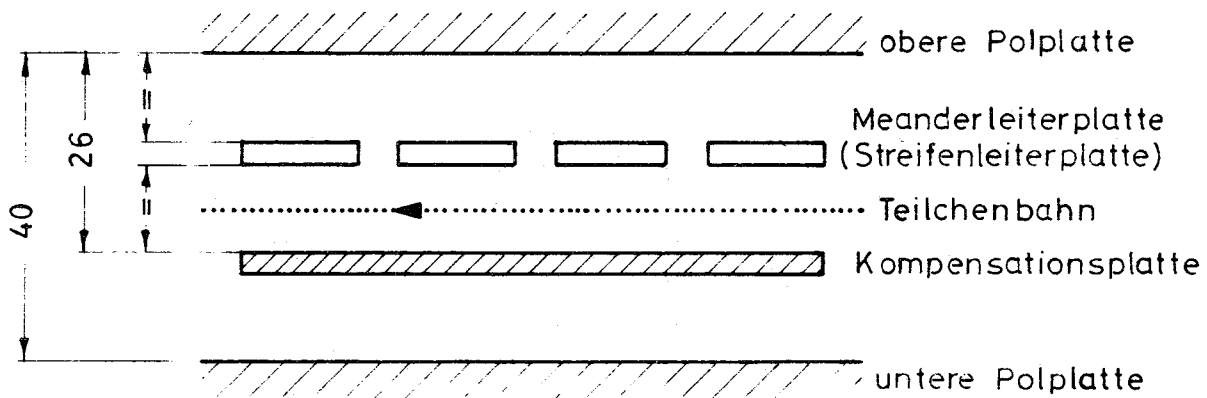


Abb. 3.3 Einbauabmessungen der Ablenkplatten im Zyklotron

Hierbei sollen die durch den Einbau der Ablenkplatten im Zyklotron entstandenen geometrischen Verhältnisse nach Abb. 3.3 berücksichtigt werden. Die Kompensationsplatte ist eine strukturlose Platte mit den gleichen Außenabmessungen wie die Streifenleiterplatte.

- d) Die Meanderleiterplatte muß gekühlt werden. Hierbei wird auf die 1 mm starke Kupferplatte ein Kühlrohr aufgelötet, das die Maße $3 \varnothing \times 0,5$ Wandstärke aufweist. Der Einfluß einer derartigen entstehenden Querschnittsgeometrie auf den Wellenwiderstand muß untersucht und berücksichtigt werden.

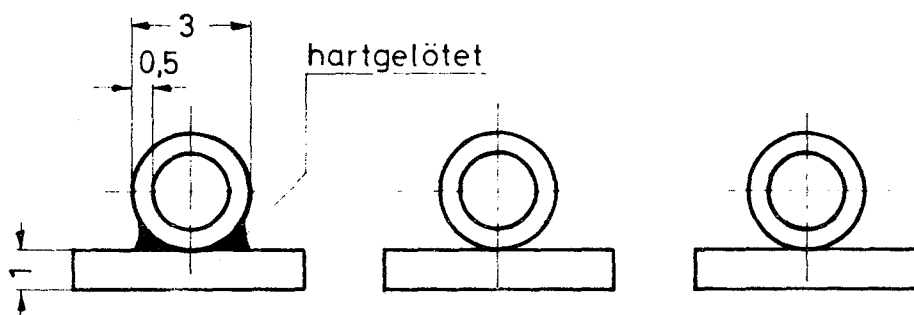


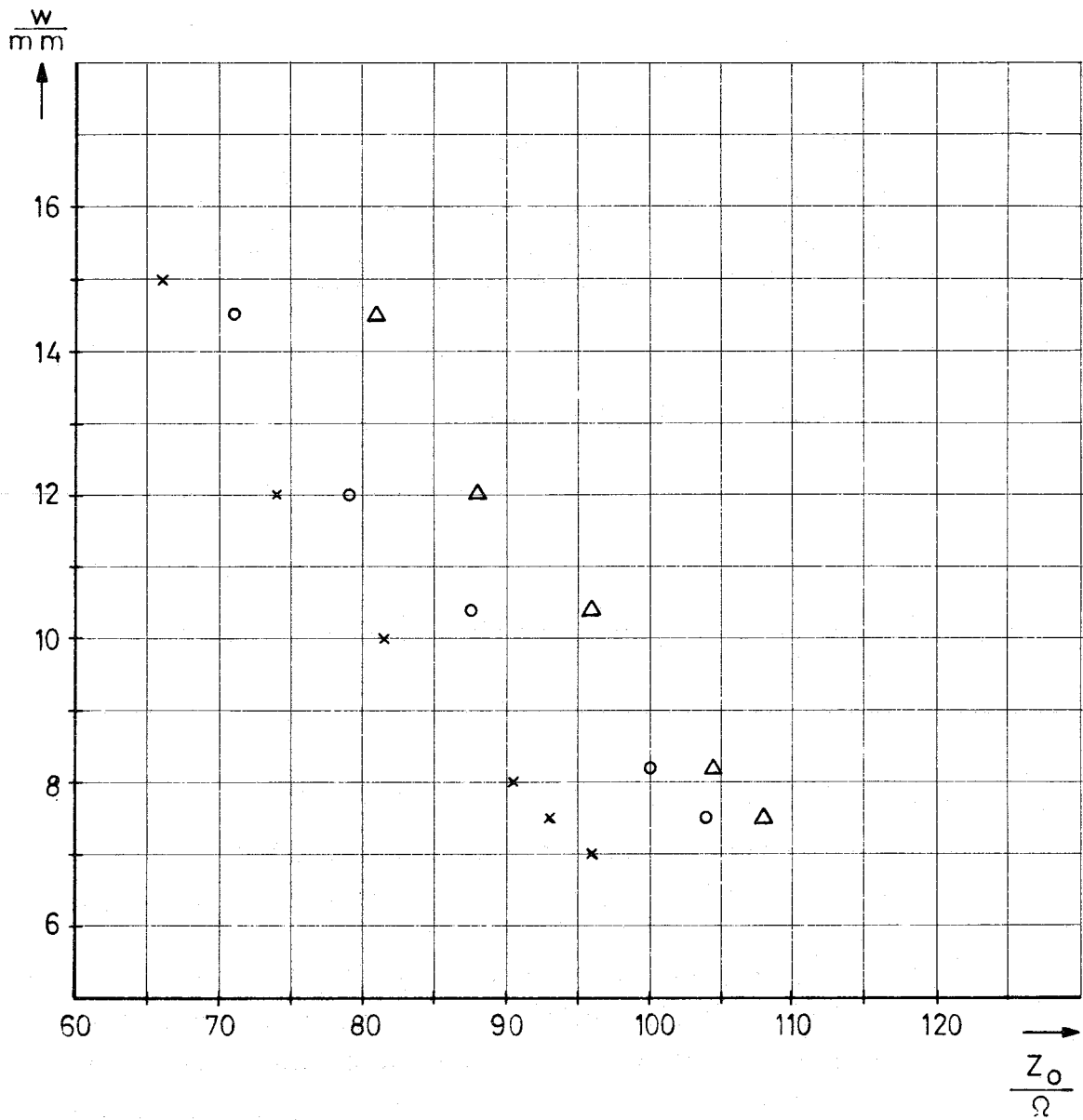
Abb.3.4 Kühlung der Meanderleiterplatte

4. Ermittlung der geometrischen Abmessungen der Meanderleiterplatte

Es wurde eine Meanderleitung gemäß Abb. 3.2 angeliefert, von der angenommen wurde, daß sie nach Einbau in das Zyklotron den Wellenwiderstand $Z_0 = 100 \Omega$ aufweisen würde.

Zur Vermessung des Wellenwiderstandes wurden die im Zyklotron vorliegenden mechanisch-geometrischen Verhältnisse im Maßstab 1 : 1 nachgebildet, die Streifenleiterplatte also in eine Vorrichtung nach Abb. 3.3 eingebaut und vermessen; der Wellenwiderstand war wesentlich kleiner als $Z_0 = 100 \Omega$. Es wurde in gleichen Abmessungen eine Streifenleiterplatte nachgebildet, jedoch in gestrecktem Zustand (Einzelstreifenbreite $w = 14,5 \text{ mm}$). Der hierbei gemessene Impedanzwert, ermittelt mit dem Reflektometer Type 1415 A der Firma Hewlett & Packard betrug $Z_0 = 71 \Omega$ (siehe auch Abb. 4.1.2).

Kompensationsplattenabstand $b = 26\text{mm}$
Schlitzbreite $s = 3\text{mm}$
Materialstärke $t = 1\text{mm}$



- o gemessene Werte
- x errechnete Werte nach Kapitel 4.1
- Δ errechnete Werte nach Kapitel 4.2

Abb. 4.1.2 Abhängigkeit des Wellenwiderstandes Z_0 der Meanderleitung nach Abb.4.1.1 von der Streifenbreite w

Zur Ermittlung der endgültigen Abmessungen der Meanderleiterplatte wurden zwei Wege gegangen. Einmal wurden durch Herantasten in kleinen Schritten unter jeweiliger Zugrundelegung des vorangegangenen Schrittes die geometrischen Abmessungen gefunden. Zum anderen wurde versucht, durch mathematisch exakte Berechnung die geometrischen Abmessungen der Meanderleiterplatte in einem Schritt zu ermitteln.

4.1 Methode der kleinen Schritte

Es wurden Meanderleiterplatten mit verschiedener Streifenbreite w - angefangen bei $w = 14,5 \text{ mm}$ - hergestellt und zwar in gestrecktem Zustand (Abb. 4.1 a) ohne Kühlrohr und nach Abb. 4.1 b vermessen. Die hierbei experimentell ermittelten Werte für den Wellenwiderstand Z_0 sind in Abb. 4.1.2 dargestellt:

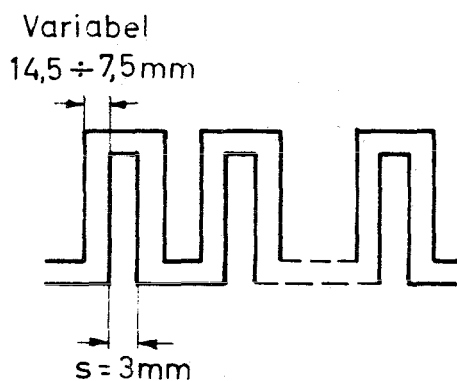


Abb. 4.1.1a Meanderleiterplatte

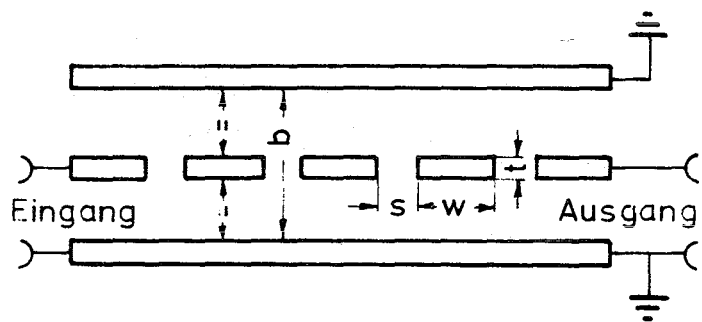


Abb. 4.1.1b Vorrichtung zum Vermessen der Meanderleiterplatte

dabei waren $t = 1$ mm, $s = 3$ mm, $b = 26$ mm und die Streifenleiterplatte zentriert. Aus der Abbildung ist ersichtlich, daß der geforderte Wellenwiderstand $Z_0 = 100 \Omega$ für eine Streifenbreite $w = 8,2$ mm erreicht wurde (ohne Kühlrohr!). Für die mathematische Ermittlung und Bestätigung der experimentell ermittelten Werte wurde für die Berechnung des Wellenwiderstandes Z_0 als Funktion von w , b , s und t eine Formel nach [1] herangezogen.

$$Z_0 = \frac{94,15}{\left(\frac{w}{b-t} + \frac{C'}{2 \epsilon_0 \cdot \epsilon_r}\right)} \Omega \quad (4.1; 1)$$

Dabei errechnet sich C' nach Zinke [2] zu

$$C' = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \frac{K(1-k^2)}{K(k)} = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \frac{K'}{K} \quad (4.1; 2)$$

Dabei ist $K(k)$ das vollständige elliptische Integral 1. Gattung, das in der einschlägigen Literatur tabelliert ist, und k errechnet sich nach [2] zu

$$k = \frac{\frac{w+s}{w} - 1}{\frac{w+s}{w} + 1} \quad (4.1; 3)$$

Beispiel:

Es ist gegeben

Streifenbreite $w = 15 \text{ mm}$

Schlitzbreite $s = 3 \text{ mm}$

Plattenabstand der Kompensationsplatten zu $b = 26 \text{ mm}$

Dicke der Streifen $t = 1 \text{ mm}$

Dann errechnet sich

$$k = \frac{0,2}{2,2} = 0,091$$

Aus Tabelle

$$K = 1,608 ; K' = 2,632$$

Damit für

$$\frac{C'}{\epsilon_0} = \frac{K'}{K} = 1,64 \quad \text{wenn } \epsilon_r = 1$$

$$\frac{C'}{2\epsilon_0} = 0,82$$

Dann wird

$$Z_0 = \frac{94,15}{\frac{15}{26-1} + 0,82} \Omega$$

$$Z_0 = 66 \Omega$$

=====

Die so mathematisch ermittelten Werte für den Wellenwiderstand Z_0 in Abhängigkeit der Streifenbreite w sind in Abb. 4.1.2 eingetragen; aus der Darstellung ist zu entnehmen, daß die so errechneten Werte für Z_0 durchschnittlich zu niedrig sind.

Es hat sich gezeigt, daß mit dieser mathematisch-experimentellen Methode das sich Herantastens an den gewünschten Wellenwiderstand der Meanderleitung die geometrischen Abmessungen der Meanderleiterplatte ermittelt werden können.

4.2 Mathematische Methode

Bei diesem Verfahren wird bei einem vorgegebenen Wellenwiderstand der Meanderleitung die Streifenbreite der Meanderleiterplatte ermittelt.

Gegeben ist die Meanderleitung mit denen in Abb. 4.1.1 gegebenen Verhältnissen.

Der Wellenwiderstand sei $Z_0 = 100 \Omega$;
gesucht ist die Streifenbreite w .

In Abb. 4.2.1 ist für einen Einzel-Streifen der Wellenwiderstand Z_0 über dem Verhältnis von Streifenbreite zu Kompensationsplattenabstand $\frac{w}{b}$ mit dem Quotienten von Streifendicke zu Kompensationsplattenabstand $\frac{t}{b}$ dargestellt; der Streifen ist zentriert [3].

Für gegebene Werte von t und b kann für einen vorgege-

benen Wert von Z_0 die Streifenbreite w^+ ermittelt werden. Dieser ermittelte Betrag der Streifenbreite w^+ gilt bei Vorhandensein von einem einzigen Streifen.

Die Streifenbreite w^+ entspricht einer ganz bestimmten Kapazität gegenüber den Kompensationsplatten bei festen geometrischen Verhältnissen.

Bei einer Meanderleitung, der Streifenleiterplatte, kommen mehrere Streifen in einem bestimmten Abstand nebeneinander zu liegen, das ergibt eine kapazitive Beeinflussung und damit Vergrößerung der Kapazität.

Um wiederum den gleichen Betrag der Kapazität zu erhalten - und damit den gleichen Betrag für den Wellenwiderstand Z_0 - muß die Streifenbreite der Meanderleiterplatte entsprechend der Größe des Betrages des Kapazitätswachses verringert werden.

Bei Vorhandensein von drei gleichbreiten Streifen kann man in erster Näherung die in Abb. 4.2.2 eingezeichnete Kapazitätsverteilung annehmen.

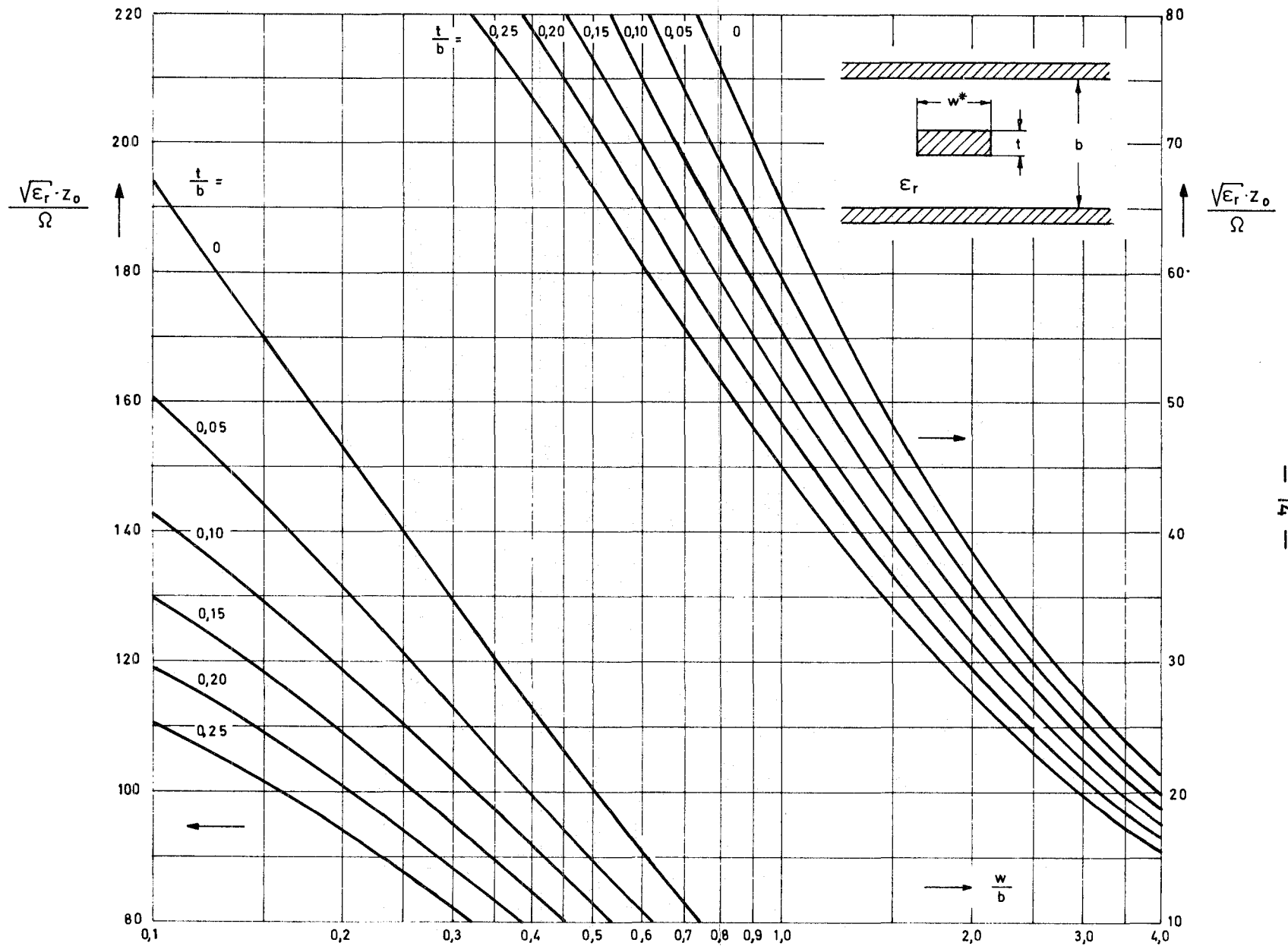


Abb. 4.2.1

Graphische Darstellung des Wellenwiderstandes Z_0 eines zentrierten Einzelstreifens über w^*/b für verschiedene Werte von t/b

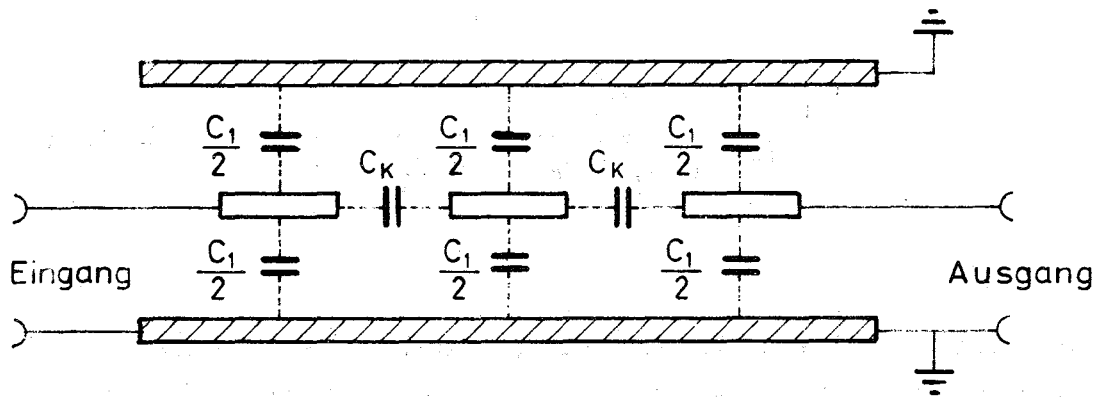


Abb. 4.2.2 Kapazitätsverteilung bei drei Streifen

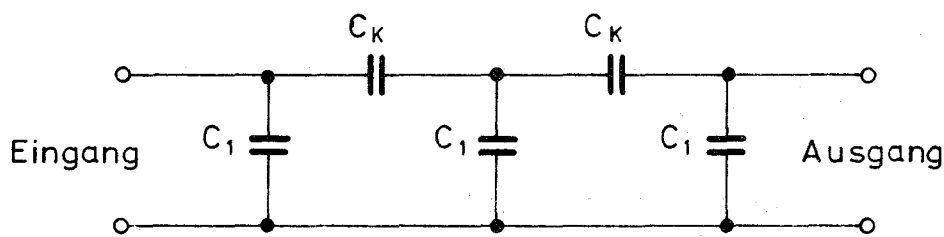


Abb. 4.2.3 Ersatzschaltbild nach Abb. 4.2.2

Dann errechnet sich aus dem Ersatzschaltbild
Abb. 4.2.3 die Gesamtkapazität nach Gl. 4.2; 1 zu.

$$C_{\text{ges}} = C_1 + \frac{C_k \cdot C_1}{C_k + C_1} \cdot \left[1 + \frac{C_k^2}{[C_k + C_1]^2 + C_k \cdot C_1} \right] \quad (4.2; 1)$$

Weitere Streifenglieder bringen bei dieser Betrachtungsweise einen Kapazitätszuwachs kleiner 1 % und werden daher vernachlässigt.

Beispiel:

Es sei

$$t = 1 \text{ mm}; b = 26 \text{ mm}; Z_0 = 100 \quad ; \quad \epsilon_r = 1$$

dann wird

$$\frac{t}{b} = \frac{1}{26} = 0,0385$$

Aus Abb. 4.2.1 kann der Quotient

$$\frac{w^+}{b} = 0,43$$

entnommen werden; daraus errechnet sich die Streifenbreite

$$w^+ = 11 \text{ mm}$$

=====

Diesem Betrag von w^+ entspricht ein Kapazitätsbelag C' gegenüber einer Kompensationsplatte von

$$\frac{C}{l} = C' = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot w^+}{\frac{b-t}{2}} \quad (4.2; 2)$$

mit

$$\epsilon_r = 1;$$

$$\epsilon_0 = 0,0885 \quad \text{pF} \cdot \text{cm}^{-1}; \quad w^+ = 1,1 \text{ cm}$$

$$b = 2,6 \text{ cm}; \quad t = 0,1 \text{ cm}$$

folgt

$$C' = 0,078 \quad \text{pF} \cdot \text{cm}^{-1}$$

und damit

$$\underline{\underline{C'_1 = 2 C' = 0,156 \quad \text{pF} \cdot \text{cm}^{-1}}}$$

Entsprechend errechnet sich aus Gl. 4.2; 2 mit der Schlitzbreite $s = 3 \text{ mm}$ der Koppelkapazitätsbelag

$$\underline{\underline{C'_k = 0,03 \quad \text{pF} \cdot \text{cm}^{-1}}}$$

Nach Gl. 4.2; 1 ergibt sich für den Gesamtkapazitätsbelag

$$\underline{\underline{C'_{\text{ges}} = 0,156 \quad \text{pF} \cdot \text{cm}^{-1} + 0,0257 \quad \text{pF} \cdot \text{cm}^{-1}}}$$

$$C'_{\text{ges}} = 0,1857 \quad \text{pF} \cdot \text{cm}^{-1}$$

Dabei setzt sich zusammen

$$C'_{\text{ges}} = 2 C'_1 + 2 C'_s \quad (4.2; 3)$$

C'_s Zuwachskapazität, hervorgerufen
durch Kapazitätsverkopplung der
Einzelstreifen

Diesem Zuwachskapazitätsbelag entspricht einer
Streifenbreite

$$w_s = \frac{C'_s \cdot \left(\frac{b-t}{2}\right)}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \quad 4.2; 4)$$

$$\underline{w_s = 0,181 \text{ cm}}$$

Um diesen Betrag von w_s muß in erster Näherung die
Streifenbreite w^+ verringert werden, um bei den gege-
benen geometrischen Verhältnissen des Ablensystems
und damit der elektrischen Leitung einen Wellenwider-
stand $Z_0 = 100 \Omega$ zu erhalten.

Die "neue" Streifenbreite w - und damit die Breite
des Einzelstreifens einer Meanderleiterstreifenplatte -
ergibt sich dann nach Gl. (4.2; 5) zu

$$w = w^+ - w_s \quad (4.2; 5)$$

$$w = 11 \text{ mm} - 1,8 \text{ mm}$$

$$\underline{\underline{w = 9,2 \text{ mm}}}$$

Setzt man die Streifenleiterplattendicke zu $t = 1,5 \text{ mm}$ an - was in grober Näherung durch das Kühlrohrsystem auf der Meanderleiterplatte als gegeben angesehen werden kann - so ergibt sich bei gleicher Rechnungsweise:

$$\frac{t}{b} = 0,0575$$

Für $Z_0 = 100 \Omega$ erhält man aus Abb. 4.2; 1

$$\frac{w^+}{b} = 0,39$$

und damit

$$\underline{\underline{w^+ = 10,1 \text{ mm}}}$$

Ferner für

$$C' = 0,078 \text{ pF} \cdot \text{cm}^{-1}$$

$$C'_1 = 2 C' = 0,156 \text{ pF} \cdot \text{cm}^{-1}$$

$$\underline{\underline{C'_K = 0,0442 \text{ pF} \cdot \text{cm}^{-1}}}$$

$$\begin{aligned} C'_{\text{ges}} &= 2 C'_1 + 2 C'_s \\ &= 0,156 \text{ pF}\cdot\text{cm}^{-1} + 0,036 \text{ pF}\cdot\text{cm}^{-1} \\ C'_s &= 0,018 \text{ pF}\cdot\text{cm}^{-1} \\ &===== \end{aligned}$$

Damit ergibt sich für

$$w_s = 2,34 \text{ mm}$$

und für

$$w = 7,76 \text{ mm} \\ =====$$

Bei der Herstellung der Meanderleiterplatte wurde ein mittlerer Wert der Streifenbreite genommen; es wurde gewählt die Streifenbreite $w = 8,2 \text{ mm}$ und die Schlitzbreite $s = 3 \text{ mm}$.

Nach Abrunden der Metallkanten der Meanderleiterplatte zur Vermeidung großer Feldstärken wurde bei den vorgegebenen geometrischen Verhältnissen nach Abb. 4.1; 1 ein Wellenwiderstand $Z_0 = 100 \Omega$ gemessen (ohne Kühlrohr).

Die Ergebnisse dieser mathematischen Methode für den Wellenwiderstand Z_0 einer Meanderleitung sind zusammen mit den gemessenen Werten für Z_0 in Abb. 4.2; 1 dargestellt.

5. Meanderleiterplatte mit Kühlrohr

Bringt man bei gleichen geometrischen Verhältnissen der Meanderleitung nach Abb. 4.1.1 auf die Streifenleiterplatte ein Kühlrohr auf, so erhöht sich die Kapazität der Leitung und dadurch wiederum verringert sich ihr Wellenwiderstand Z_0 .

Es muß daher bei der praktischen Realisierung der geforderten Meanderleitung mit vorgegebenem Betrag von Z_0 und Kühlung bei Herstellung ohne Kühlrohr ein größerer Widerstandswert Z_0 angestrebt werden.

Dies ist einmal zu erreichen durch eine Verringerung der Streifenbreite der Meanderleiterplatte oder durch eine Vergrößerung des Abstandes b der Kompensationsplatten (siehe Abb. 4.1; 1 b).

In Tabelle 5.1 sind die erzielten Wellenwiderstandswerte Z_0 für eine Meanderleitung nach Abb. 4.1.1 in Abhängigkeit von der Streifenbreite w und Kompensationsplattenabstand b bei konstanter Schlitzbreite aufgeführt.

T a b e l l e 5.1

Streifen- breite w / mm	Schlitz- breite s / mm	Kompensa- tionsplat- tenabstand b / mm	Wellenwider- stand Z_0 / Ω
8,2	3	26	100
7,5	3	26	104
7,5	3	28	106,5
7,5	3	30	122,5
für Kühl- rohr			
7,5	3	30	100

6. Laufzeit der Meanderleitung

Wie in Kapitel 3 gezeigt wurde, soll die Meanderleitung bei den gegebenen Verhältnissen nach Abb. 3.2 für den Synchron-Ablenkimpuls eine Laufzeit von 11,4 ns aufweisen.

Die Frage, die sich nun stellt, lautet:

Wieviel Einzelstreifen der Streifenleiterplatte sind notwendig, um die geforderte Laufzeit zu realisieren?

Nach Kapitel 4.2 und Abb. 4.2.1 ergab sich für $Z_0 = 100 \Omega$; $t = 1 \text{ mm}$; $b = 26 \text{ mm}$ für einen Einzelstreifen eine Breite $w^+ = 11 \text{ mm}$. Dann errechnet sich für diese Streifenbreite gegenüber den beiden Kompensationsplatten nach dem Abstandsgesetz ein Kapazitätsbelag

$$C_1' = 2 \cdot \frac{\epsilon_0 \cdot w^+}{\frac{b-t}{2}} \quad (4.2; 2 a)$$

$$C_1' = 0,156 \quad \text{pF} \cdot \text{cm}^{-1}$$

=====

Für Phasengeschwindigkeit v_p gilt die Beziehung

$$v_p' = \frac{1}{C_1 \cdot Z_0} \quad (6; 1)$$

Für $Z_0 = 100 \Omega$ und $C_1 = 0,156 \text{ pF} \cdot \text{cm}^{-1}$ errechnet sich die Phasengeschwindigkeit zu

$$\underline{v_p = 6,4 \cdot 10^{10} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}}$$

Bei der Meanderleitung ist gefordert eine Laufzeit $t = 11,4 \text{ ns}$. Das ergibt einen Weg x , d.h. eine Ge-

samtlänge der abgerollten Meanderleiterplatte von

$$x = v_p \cdot t \quad (6; 2)$$

$$x = 7300 \text{ mm}$$

Bei den Abmessungen der Meanderleiterplatte nach
Abb. 6.1,

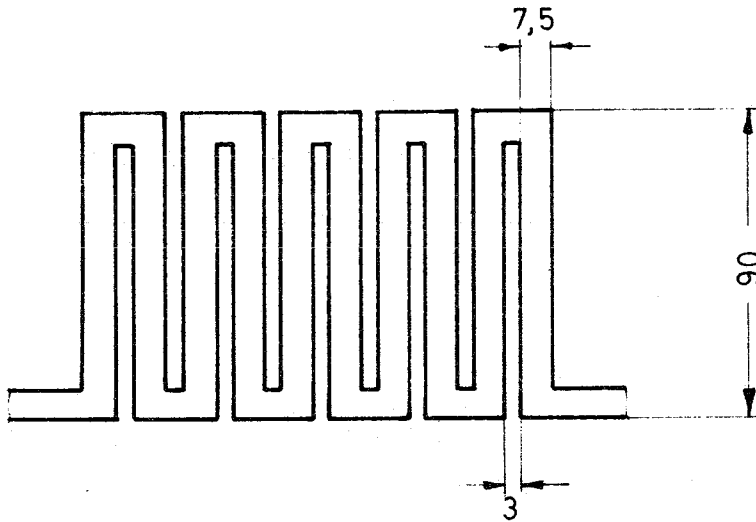


Abb.6.1 Abmessungen der Streifenleiterplatte

also bei einer Streifenlänge $l = 90 \text{ mm}$, Streifenbreite $w = 7,5 \text{ mm}$ und Schlitzlänge $s = 3 \text{ mm}$ ergibt dies eine Gesamtstreifenzahl n von

$$n = \frac{x}{l_m} \quad (6; 3)$$

dabei bedeuten

x Länge der abgerollten Streifenleiterplatte

l_m Mittlere Weglänge eines Einzelstreifens

n Streifenzahl

$$n = \frac{7300}{93} = \underline{\underline{78 \text{ Streifen}}}$$

7. Ausführungsform der Meanderleiterplatte

In der endgültigen Ausführungsform wurde die Meanderleiterplatte aus 1 mm starkem Kupferblech gemäß den Abmessungen nach Abb. 7.1 ausgefräst:

Es waren

$$l = 90 \text{ mm}$$

$$s = 3,0 \text{ bis } 3,2 \text{ mm}$$

$$w = 7,0 \text{ bis } 7,5 \text{ mm}$$

$$\text{Materialstärke } t = 1 \text{ mm}$$

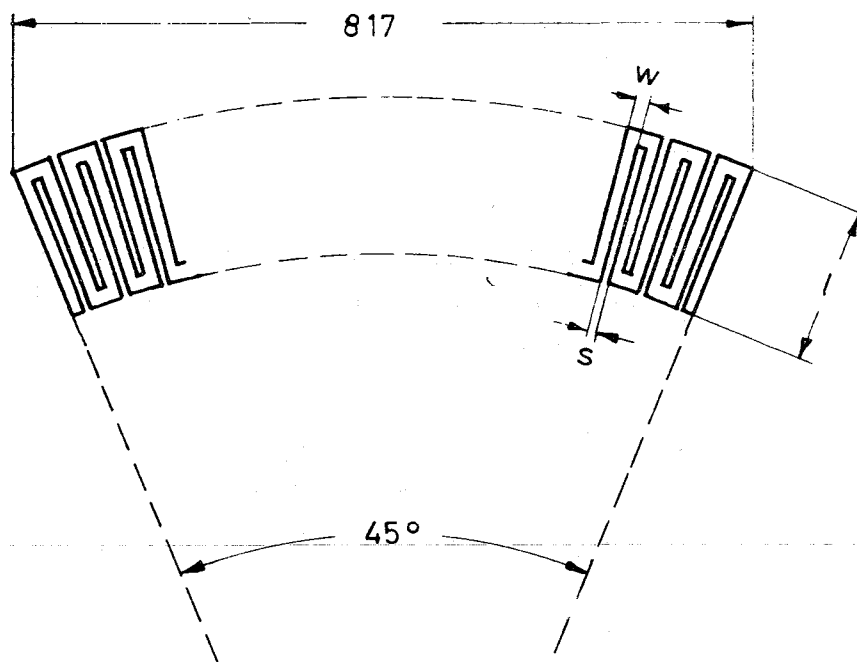


Abb.7.1 Endgültige Ausführung der Meanderleiterplatte

Die Kanten und Ecken der Meanderleiterplatte müssen abgerundet werden, damit die Randkapazitäten klein gehalten werden, denn je schärfer die Kanten, die Ränder der einzelnen Streifen der Streifenleiterplatte sind, desto höher ist die Randfeldstärke im homogenen Feld.

Theoretisch wird bei exakt scharfen Kanten die Randfeldstärke und damit die Randkapazitäten der Meanderleiterplatte z. B. gegenüber den Kompensationsplatten unendlich groß bei beliebiger Amplitude des Synchronablenkimpulses (siehe Abb. 4.2.2).

Nach [4] nimmt bei einem Plattenkondensator die Randfeldstärke umgekehrt proportional der dritten Wurzel aus dem Verhältnis des Radius zum Plattenabstand zu.

Eine Zunahme der Gesamtkapazität der Meanderleitung ist jedoch gleichbedeutend mit einer Abnahme des Wellenwiderstandes Z_0 . Infolge der enorm hohen Impulsleistung treten in der Meanderleitung hohe Verluste auf, die sich als von der Streifenleiterplatte abzuführende Wärmeenergie äußert. Es wurde daher auf die Meanderleiterplatte zur Wasserkühlung ein Kupferrohr aufgelötet. Die so geartete Meanderleiterplatte wurde zusammen mit den Kompensationsplatten in eine naturgetreue Nachbildung eines Segmentausschnittes des Zyklotrons gemäß Abb. 7.2 eingebaut.

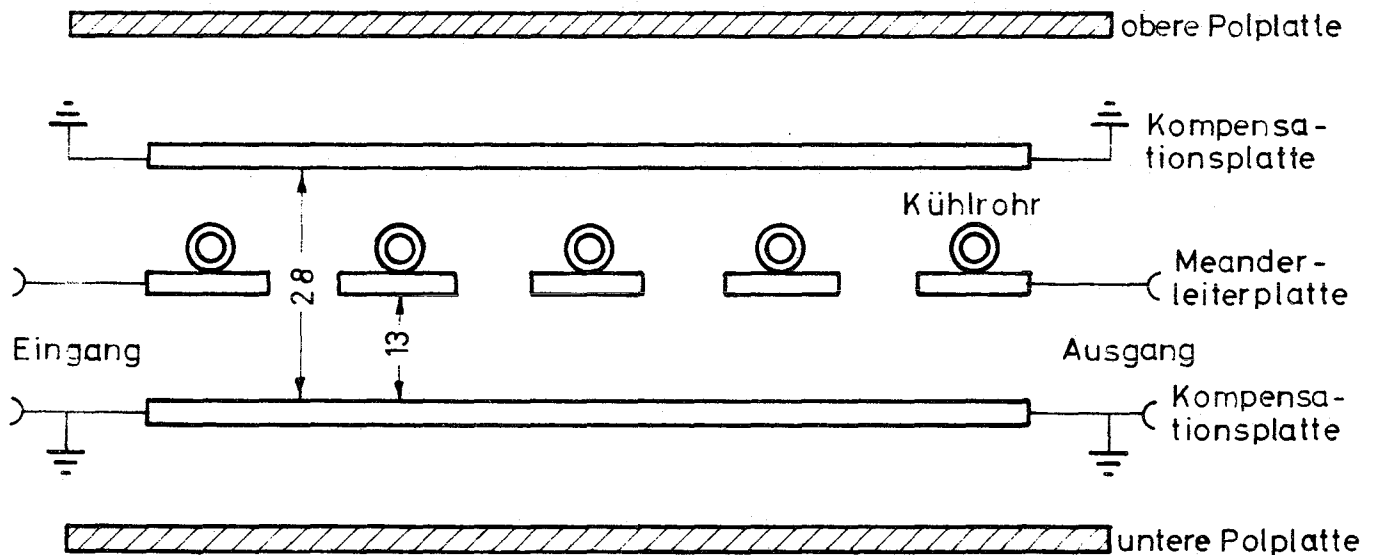


Abb. 7.2 Meanderleitung im Zyklotronsegment

Die so vorhandene elektrische Leitung wurde mit einem Reflektometer Typ 1415 A der Firma Hewlett & Packard vermessen.

Die Messung ergab einen Wellenwiderstand einer solchen elektrischen Leitung von

$$Z_0 = 101\Omega$$

=====

Bei einer Streifenzahl von

74 Streifen

ergab sich eine

Laufzeit von $t = 11,7 \text{ ns}$

(errechnet waren 78 Streifen bei einer Laufzeit von $t = 11,4 \text{ ns}$).

8. Zusammenfassung

Die mathematischen und experimentellen Methoden, die zur Herstellung einer Meanderleiterplatte und damit zur Erstellung der angeforderten Meanderleitung führten, sind hier beschrieben.

Es wird gezeigt, daß es möglich ist, bei vorgegebener Geometrie eine elektrische Leitung, im wesentlichen bestehend aus einer Meanderleiterplatte (einer Streifenleiterplatte), auf die zur Kühlung ein wasserdurchflossenes Kupferrohr aufgelötet ist, mit einem Wellenwiderstand $Z_0 = 100 \Omega$ und einer Laufzeit $t = 11,7 \text{ ns}$ herzustellen.

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

- [1_] S.B. Cohn "Characteristic impedance of the shielded-strip transmission line" Trans. IRE, Vol. MTT 2, July 1954, Seite 53
- [2_] O. Zinke "Widerstände, Kondensatoren, Spulen und ihre Werkstoffe" Springer-Verlag, Berlin 1965, Seite 91
- [3_] S.B. Cohn a.a. O. [1_], Seite 57
- [4_] O. Zinke a.a. O., Seite 88
- [5_] O. Zinke a.a. O., Seite 78 - 91
- [6_] S.B. Cohn "Shielded Coupled-Strip Transmission Line; Trans. IRE, Oktober 1955, Seite 29 - 38
- [7_] J. D. Horgan "Coupled Strip Transmission Lines with Rectangular Inner Conductors" Trans. IRE, April 1957 Seite 92 - 99