

DESY A 2.44

Hamburg, den 13.2.1959
Bo/Schw.

Vorschlag für ein Ringdrossel-Modell

Da es wirtschaftlicher ist, die einzelnen Drosselspulen der Stromversorgungsschaltung des Synchrotron-Magneten zu einer großen Ringdrossel zusammenzufassen, muß untersucht werden, ob sich eine solche Einheit technisch realisieren läßt. Ein Weg dazu ist der Bau einer Ringdrosselspule von wesentlich geringerer Größe als Modell.

- 1) Abb. 1 zeigt das Prinzipschaltbild zur Erregung des Synchrotronmagneten. Dieser besteht aus 48 einzelnen, ca. 4,15 m langen Sektoren, die magnetisch getrennt sind, durch die aber der gleiche Strom fließen soll. Je vier Sektoren faßt man zusammen zu den Induktivitäten L ; dazu in Reihe liegt die zu L auf Resonanz abgestimmte Kapazität C und zu dieser parallel der Sperrkreis aus C' und L' , wobei L' die Induktivität der Ringdrossel pro Einheit ist. Es sind 12 Einheiten vorhanden. Bl. A 2.44a zeigt die Parameter der Schaltung.
- 2) Für die Sperrkreis-Induktivitäten können einzelne Drosselspulen bekannter Bauart eingesetzt werden. Eine gemeinsame "Summendrossel" hat jedoch einen wesentlich geringeres aktives Gewicht als 12 einzelne Drosselspulen und außerdem sind ihre Verluste geringer. Eine solche Einheit muß als Ringspule ausgebildet sein, da nur bei einer winkelsymmetrischen Anordnung gewährleistet ist, daß zwischen be-

liebigen Einzelwicklungen keine Kopplungen auftreten. Zweckmäßigerweise wird der Toroid aus zwölf einzelnen trapezförmigen Sektoren zusammengesetzt, zwischen denen sich Luftspalte befinden. Der Eisenkern wird aus kornorientierten Blechen (z.B. Armco M6W oder M6x) geschichtet, wobei die Vorzugsrichtung azimuthal verläuft. Eine Tabelle der vorläufigen Daten der Ringdrossel zeigt Bl. A 2. 44b. Jeder Sektor trägt außer der eigentlichen Drosselwicklung noch eine Primärwicklung, über die die Wirkleistung eingespeist wird und die deshalb nur einen Bruchteil des Querschnitts der ersteren hat. Alle 12 Primärwicklungen werden parallel geschaltet.

Konstruktion

Der Eisenkern wird aus drei Teilen zusammengesetzt, wobei der mittlere Teil 75 cm breit ist, was der maximalen verfügbaren Breite für Bandmaterial M6X oder M6W entspricht. Jeder Teil wird für sich mit Zugankern und U-Eisen zusammengehalten. Die Bolzen M20 wurden so bestimmt, daß ein Pressdruck von 8 kg/cm^2 ausgeübt werden kann. Die drei Kernpakete werden mit den treppenförmig abgestuften Beilagen oben und unten mit 12 Bolzen M24 zusammengehalten; oben werden sie mit Profileisen verbunden, unten mit einem Fundament, das z. B. aus Profileisen verschweißt werden kann. (In der beiliegenden Zeichnung nur angedeutet). Die Beilagen können vor der Montage verklebt werden. Für sie kann normales Transformatorenblech oder Dynamoblech verwendet werden. - Über die genaue Größe des Luftspaltes und über die Form der Abschrägungen wird eine Messung im elektrolytischen Trcg Auskunft geben, die erst durchgeführt werden soll, wenn die technische Auslegung vollständig geklärt ist.

Die Wicklung wird in "Nuten" eingebettet, um den Streufluß durch das Wickelkupfer ungefähr homogen zu machen und um mechanische Festigkeit zu gewährleisten. Sie sollen flüssigkeitsgekühlt werden; als Kühlmittel kommt in erster Linie Öl in Frage, gegen dessen Verwendung keine Bedenken bestehen. Die Wicklung soll deshalb

in einem flüssigkeitsdichten Gehäuse untergebracht werden, das aus Isolierstoff besteht und folgende Durchführungen haben muß: bei 11 Sektoren 4 Durchführungen für die 4 Wicklungsenden, bei 1 Sektor 6 Durchführungen (geteilte Drosselwicklung) und in jedem Sektor je 1 Ein- und Austritt für das Kühlmittel. Im Eisenkern entstehen nur geringe Eisenverluste, so daß dieser freiaufgestellt werden kann. - Um die Wechselstrom-Zusatzverluste in der Wicklung zu reduzieren, muß der Leiterquerschnitt von 290 mm^2 unterteilt werden (Röbelstäbe oder Preßlitze). Der gesamte für die Wicklung zur Verfügung stehende Querschnitt einschließlich Gehäusewandungen wurde zu $650 \text{ cm}^2 = 21 \times 31 \text{ cm}^2$ festgelegt. Die reinen Kupferquerschnitte betragen: Drosselwicklung 255 cm^2 ; Primärwicklung $6,4 \text{ cm}^2$. Das ergibt einen Füllfaktor von 41 %. Die Wicklung muß abgestützt werden, um der magnetischen Kraft entgegenzuwirken, die bestrebt ist, aus dem Rechteck einen Kreis zu machen. Die entsprechende Konstruktion wurde in den beiliegenden Zeichnungen noch nicht angegeben. Ebenso wurde der Aufbau der Wicklung ausgelassen, da hierbei viele Varianten möglich sind.

Jeder Sektor soll eine in sich völlig kompakte Einheit sein. Die 12 Sektoren bilden zusammen einen Ring, und zwischen ihnen befinden sich parallele Luftspalte, in denen Kräfte herrschen, die versuchen, die Sektoren anzuziehen. Bei dem vorgegebenen zeitlichen Verlauf des Stromes $i = I_m/2 (1+0,5 \cos \omega t)$ verläuft die Kraft nach der Funktion

$$p = P_{\max} (0,445 + 0,445 \cos \omega t + 0,11 \cos^2 \omega t)$$

mit dem Maximalwert P_{\max} und dem Minimalwert $0,11 P_{\max}$. Es wäre denkbar, daß die einzelnen Kerne von selbst aneinander haften, da die Anziehungskraft nicht Null wird. Trotzdem wird es nötig sein, dem die Luftspalte ausfüllenden Material (z. B. Hartpapier; es sollten aber auch andere hierfür in Frage kommende Werkstoffe

geprüft werden) eine Vorpressung noch zu bestimmender Größe zu geben. Die einfachste Konstruktion ergibt sich, wenn man Ringe aus Profileisen um die ganze Drossel legt und die einzelnen Sektoren gleichmäßig gegen diese Ringe verspannt. Das könnte mit Spindeln geschehen, die auf die geraden Stücke außen an den Sektoren - unter Zwischenlage von Druckplatten - drücken, wobei die Achse der Spindeln parallel zur Wicklungsachse liegt. Nun ist die gesamte Ringdrossel eine Einheit geworden und wird auf ein Fundament gestellt. Unter dem Einfluß der Wechselkräfte "atmet" der Ring ein wenig. Dieser Tatsache muß bei der Auslegung des Fundamentes Rechnung getragen werden. Legt man einen Luftspalt von 8 cm und eine mittlere Induktion von 12000 G im Luftspalt zugrunde, so wird auf das die Luftspalte ausfüllende Material ein Druck mit einer doppelten Wechselamplitude von ca. $5,5 \text{ kg/cm}^2$ ausgeübt. Verwendet man Hartpapier oder Hartgewebe mit einem Elastizitätsmodul $E = 80000 \text{ kg/cm}^2$, so beträgt die doppelte Amplitude der Luftspaltänderung $5,3/\mu$, die Änderung des Umfanges $6'/\mu$ und die des Durchmessers $20/\mu$.

3) Ringdrossel-Modell

Nach den beiliegenden Konstruktionszeichnungen und der Parameter-Zusammenstellung DESY A 2. 44c soll eine kleinere Ringdrossel mit einer gespeicherten Energie von 13,5 kWs gebaut werden. Diese Drossel soll den gleichen Strom führen wie die große Ringdrossel. Stromdichte und magnetische Induktion werden bei beiden Ausführungen gleich gewählt. In der gleichen Größenordnung liegt bei beiden Drosseln auch das Verhältnis von Eisen- zu Kupferquerschnitt. Bei der großen Ringdrossel lehnt man sich dabei an eine früher gefundene - s. DESY A 2. 28 - optimale Dimensionierung, mit einigen Abwandlungen, die durch die neue Konstruktion bestimmt sind, an, und bei der Modell-Drossel soll in etwa geometrische Ähnlichkeit herrschen. Das bedingt aber, daß die Luftspalte bei der großen Drossel relativ größer sind.

Die Konstruktion wird ähnlich der für die große Drossel ausgeführt, wie sie oben beschrieben wurde. Die Wicklungen sollen genau so wie die der großen Drossel in einem flüssigkeitsdichten Kasten untergebracht und mit Öl gekühlt werden. Rückkühlung des Öles mit einem oder mehreren äußeren Kühlern oder Radiatoren ist hier ebenfalls nötig. Einschließlich der Gehäusewandungen steht ein Querschnitt von 90 cm^2 für die Wicklung zur Verfügung. Die reinen Kupferquerschnitte betragen: Drosselwicklung $34,8 \text{ cm}^2$, Primärwicklung $1,6 \text{ cm}^2$. Das ergibt einen Füllfaktor von $40,5 \%$.

W. Bothe

D e u t s c h e s E l e k t r o n e n - S y n c h r o t r o n
(DESY)

Hamburg-Gr.Flottbek 1, Flottbeker Drift 56

DESY A 2. 44a
13.2.59
Bo/Schw.

Parameter für die Magnetstromversorgung, Stand 1.2.1959

Anzahl der Sektoren	$2N = 48$
zeitl. Verlauf des Magnetstromes	$i = \frac{I_m}{2} (1 - \cos \omega t)$
Scheitelwert des Magnetstromes	$I_m = 1360 \text{ A}$
Effektivwert des Magnetstromes	$I = \sqrt{\frac{3}{8}} I_m = 835 \text{ A}$
Frequenz	47 ... 51 Hz
Anzahl der Stromversorgungseinheiten	$m = 12$
Spannung pro Einheit	$2U = 17,5 \text{ kV}$
normale Spannung gegen Erde	$U = 8,75 \text{ kV}$
Isolationsspannung d. Magnetwicklungen und der Drosselwicklungen gegen Erde	10 kV
im Magneten gespeicherte Energie, Scheitelwert	$W = 1,3 \cdot 10^6 \text{ Ws}$
Magnetinduktivität pro Einheit	$L = 0,116 \text{ H}$
Drosselinduktivität pro Einheit	$L' = 0,232 \text{ H}$
	$x = \frac{L}{L'} = 0,5$
in der Drossel gespeicherte Energie, Scheitelwert	$W' = 1,46 \cdot 10^6 \text{ Ws}$
zeitl. Verlauf des Stromes durch die Drossel	$i' = \frac{I_m}{2} (1 + 0,5 \cos \omega t)$
Scheitelwert des Stromes durch die Drossel	1020 A
Effektivwert des Stromes durch die Drossel	722 A

in den Kondensatoren gespeicherte Energie, Scheitelwert

$$W_o = 0,488 \cdot 10^6 \text{ Ws}$$

Blindleistung der Kondensatoren b. 50 Hz

153 MVA

Gleichstromverluste Magnet

320 kW

Gleichstromverluste Drossel

220 kW

Wechselstromverluste Magnet

600 kW

Wechselstromverluste Drossel

ca. 100 kW

Wechselstromverluste Kondensatoren
(tg = 0,31 %)

480 kW

D e u t s c h e s E l e k t r o n e n - S y n c h r o t r o n (DESY)
Hamburg-Gr.Flottbek 1, Flottbeker Drift 56

DESY A 2. 44b
13.2.59
Bo/Schw.

Parameter der Ringdrosselspule

zeitlicher Verlauf des Stromes	$i' = 680 \text{ A}(1+0,5 \cos \omega t)$
Nennfrequenz	50 Hz
Scheitelwert des Stromes	1020 A
Effektivwert des Stromes	722 A
Anzahl der Sektoren	$m = 12$
ges. gespeicherte Energie, Scheitelwert	$W' = 1,46 \cdot 10^6 \text{ Ws}$
gespeicherte Energie pro Sektor	$W'/12 = 122 \cdot 10^5 \text{ Ws}$
Stromdichte (Effektivwert)	$G = 2,5 \text{ A/mm}^2$
maximale magn. Induktion im Eisen	$B_{\max} = 17500 \text{ Gau\ss}$
mittl. magn. Induktion im Eisen	$B = 16800 \text{ Gau\ss}$
mittl. magn. Wechselinduktion im Eisen	$B_{\sim} = 5600 \text{ Gau\ss}$
vorgesehene Blechsorte	Armco M6X, M6W
mittl. spez. Eisenverluste (ohne Zusatzverluste)	0,3 W/kg
Leiterquerschnitt	290 mm ²
mittl. Windungslänge/Sektor	6,0 m
Wirkwiderstand/Sektor, warm	39 mOhm
Luftspaltlänge	7 ... 8 cm
Gewicht des aktiven Eisens/Sektor	11 t
Kupfergewicht/Sektor	1,15 t
Eisenverluste/Sektor (ohne Zusatz- verluste)	3,3 kW
Gleichstromkupferverluste/Sektor	18,2 kW
Wechselstromkupferverluste/Sektor (ohne Zusatzverluste)	2,1 kW
Windungszahl/Sektor	88

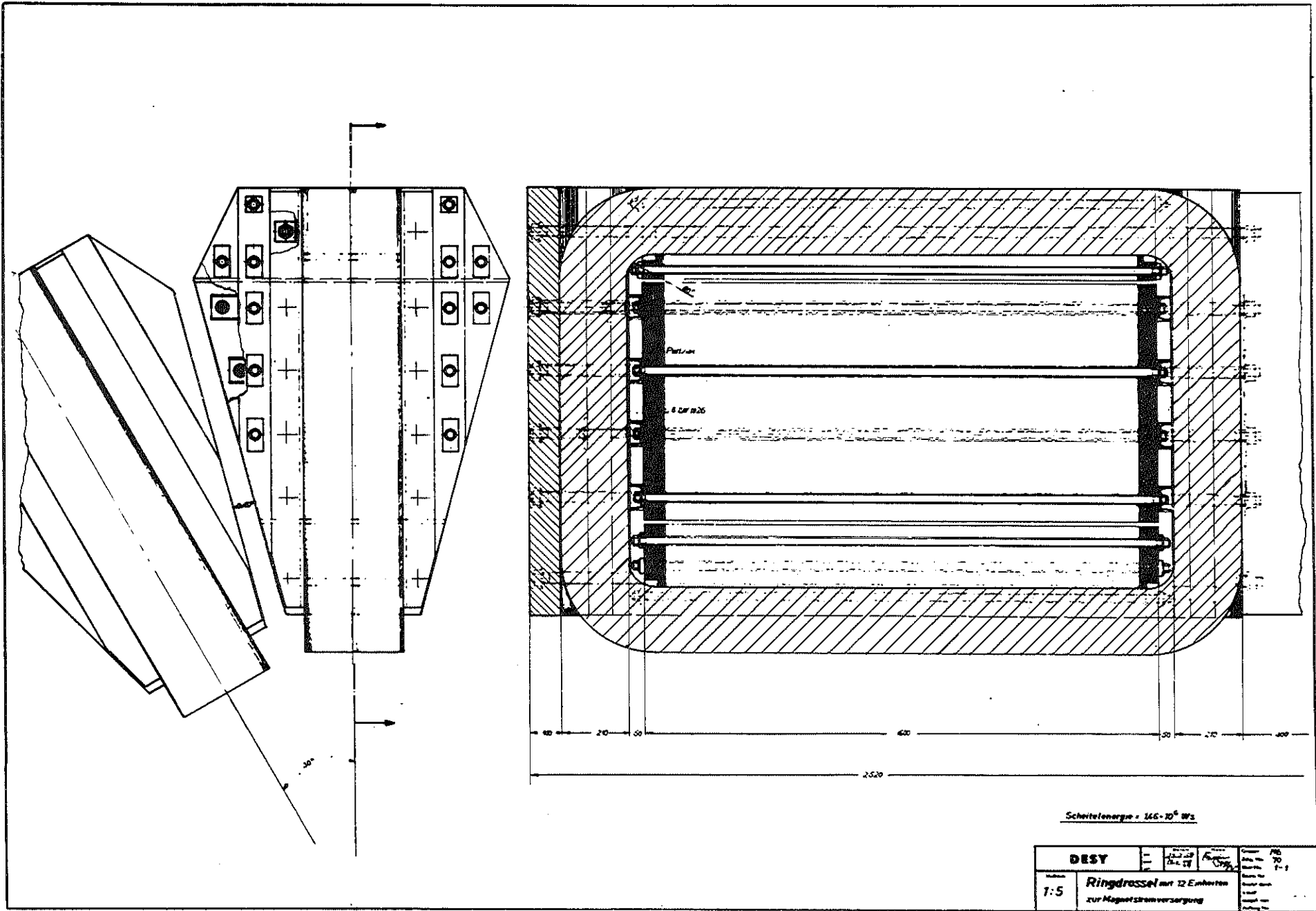
Kraft im Parallelluftspalt, Scheitelwert	120 t ... 160 t
Kraft im Parallelluftspalt, kleinster Wert	13 t ... 18 t
spezifische Kraft auf die Wick- lungen, Maximalwert	ca. 100 kg/m
Windungsspannung, Effektivwert	195 V
Isolationsspannung gegen Erde	10 kV
Primärwicklungen:	
Windungszahl	32
Leiterquerschnitt	20 mm ²
Spannung	6,24 kV
Strom, Effektivwert	50 A

DESY A 2. 44 c
13.2.59
Bo/Schw.

Parameter der Modell-Ringdrosselspule

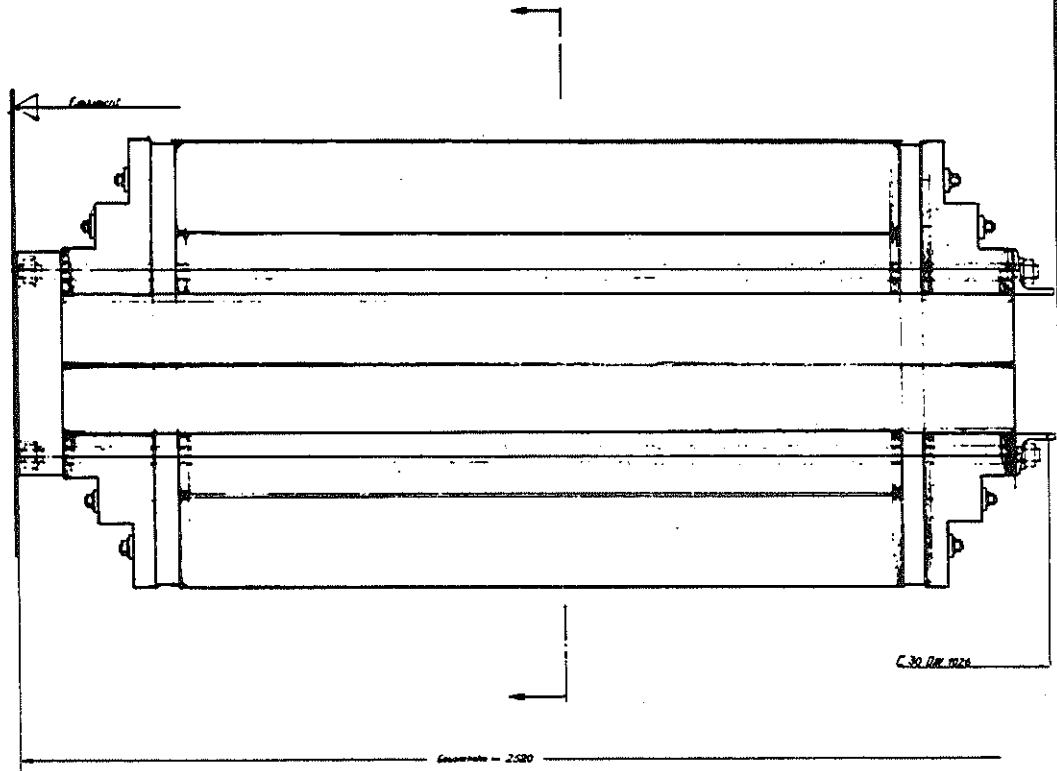
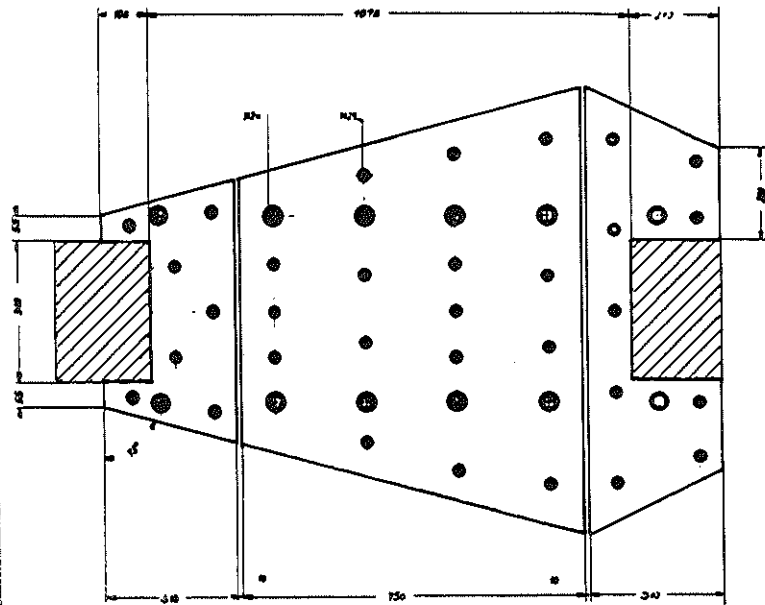
zeitl. Verlauf des Stromes	$i' = 680 \text{ A}(1 + 0,5 \cos \omega t)$
Nennfrequenz	50 Hz
Scheitelwert des Stromes	1020 A
Effektivwert des Stromes	722 A
Anzahl der Sektoren	$m = 12$
ges. gespeicherte Energie, Scheitelwert	$W' = 13,5 \cdot 10^3 \text{ Ws}$
gespeicherte Energie/Sektor	$W'/12 = 1,13 \cdot 10^3 \text{ Ws}$
Stromdichte (Effektivwert)	$G = 2,5 \text{ A/mm}^2$
max.magn. Induktion im Eisen	$B_{\max} = 17500 \text{ Gau\ss}$
mittl. magn. Induktion im Eisen	$B = 16800 \text{ Gau\ss}$
mittl.magn. Wechselinduktion im Eisen	$B_{\sim} = 5600 \text{ Gau\ss}$
vorgesehene Blechsorte	Armco M6X, M6W
mittl.spez. Eisenverluste (ohne Zusatzverluste)	0,3 W/kg
Leiterquerschnitt	290 mm^2
mittl. Windungslänge/Sektor	1,65 m
Wirkwiderstand/Sektor, warm	1,45 mOhm
Windungszahl/Sektor	12
Luftspaltlänge	10 ... 13 mm
Gewicht des aktiven Eisens/Sektor	310 kg
Kupfergewicht/Sektor	51 kg

Eisenverluste/Sektor (ohne Zusatzverluste)	0,10 kW
Gleichstromkupferverluste/Sektor	0,67 kW
Wechselstromkupferverluste/Sektor (ohne Zusatzverluste)	0,084 kW
Kraft im Parallel-Luftspalt, Scheitelwert	7,5 ... 12 t
Kraft im Parallel-Luftspalt, kleinster Wert	0,83 t ... 1,3 t
spezifische Kraft auf die Wicklungen, Maximalwert	ca. 40 kg/m
Windungsspannung, Effektivwert	13,5 V
Isolationsspannung gegen Erde	2 kV
Primärwicklung:	
Windungszahl	16
Leiterquerschnitt	10 mm ²
Spannung	216 V
Strom, Effektivwert	25 A



Scheitelenergie = $16 \cdot 10^6$ Ws

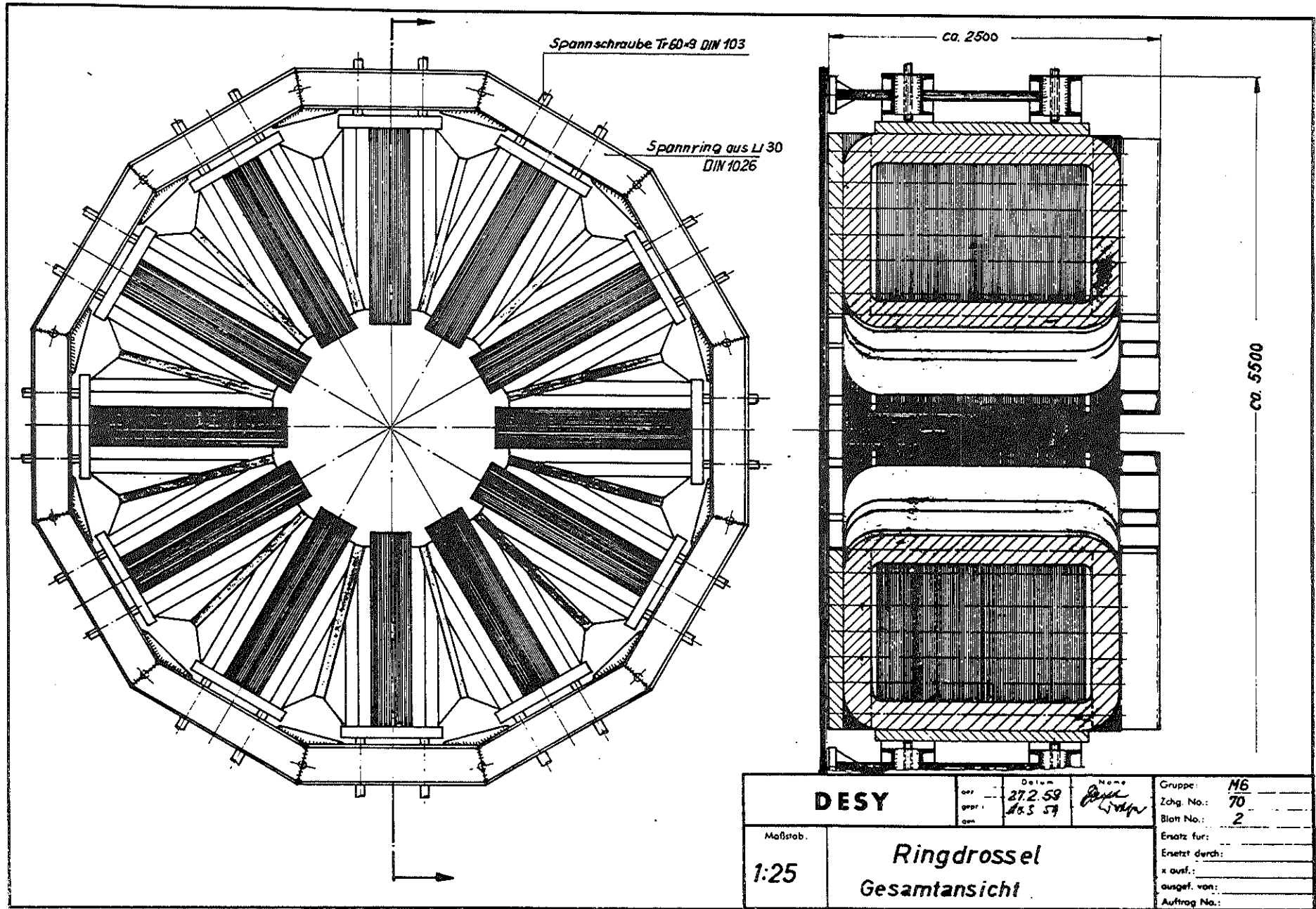
DESY 7:5	Ringdrossel mit 12 Einheiten zur Magnetstromversorgung	12.12.20 12.12.19	78 78
	zur Magnetstromversorgung	12.12.20 12.12.19	78 78



Scheitelenergie = $145 \cdot 10^6$ Ws

1:5	DESY	G. 1.1.1.1 (1.1.1.1)	A. 1.1.1.1	Zeichner	AW
				Proj. Nr.	70
				Blatt Nr.	1/2
				Blatt Anzahl	
				Gezeichnet	
				Geprüft	
				Freigegeben	

Ringdrossel mit 12 Einheiten
zur Magnetstromversorgung



DESY

Druck 27.2.59
 Blatt 28.3.59

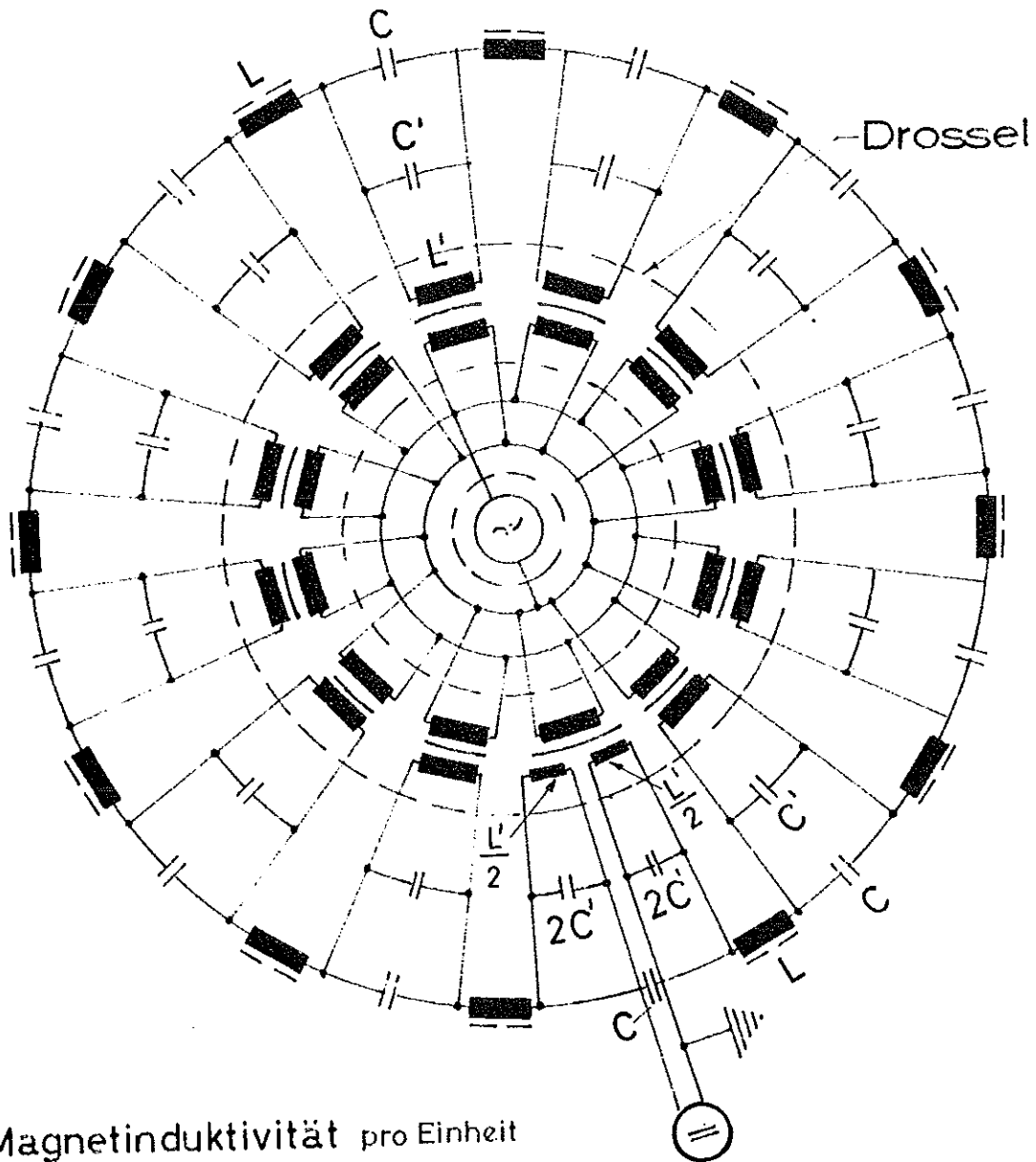
Name
Boyer

Gruppe: M6
 Zeich. No.: 70
 Blatt No.: 2

Maßstab:
 1:25

**Ringdrossel
 Gesamtansicht**

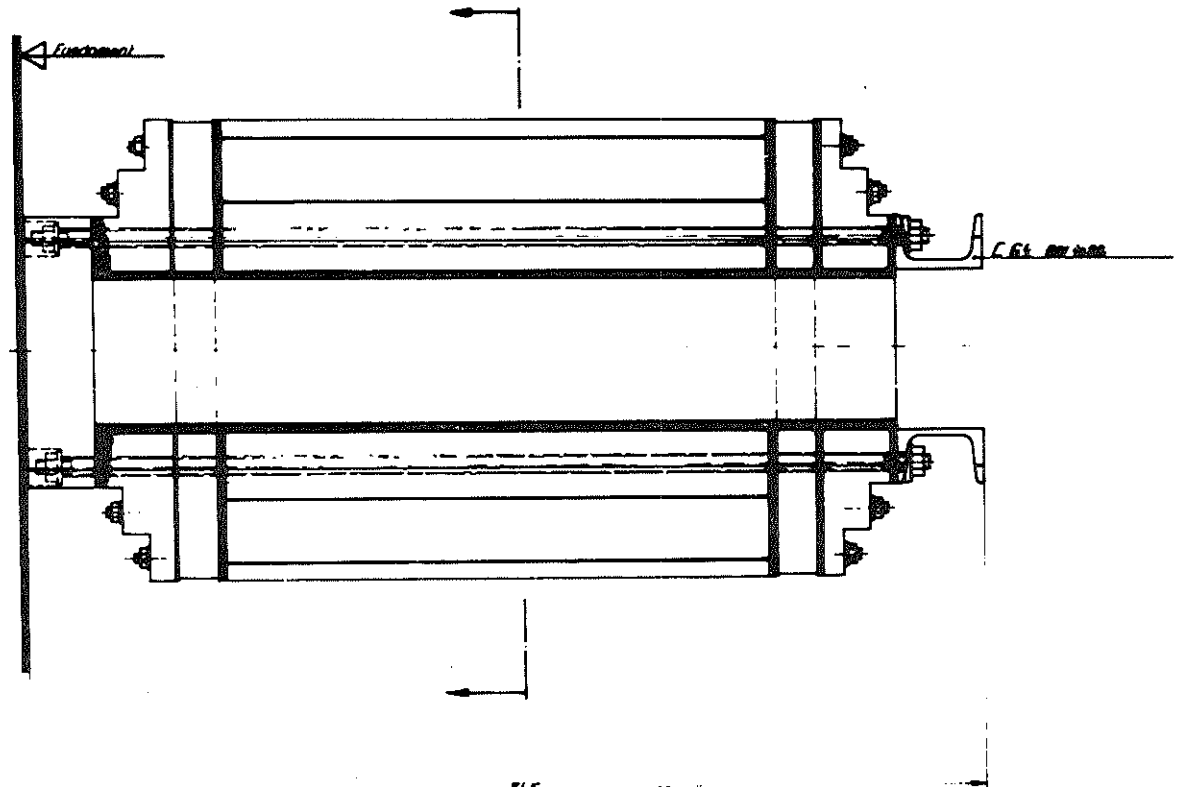
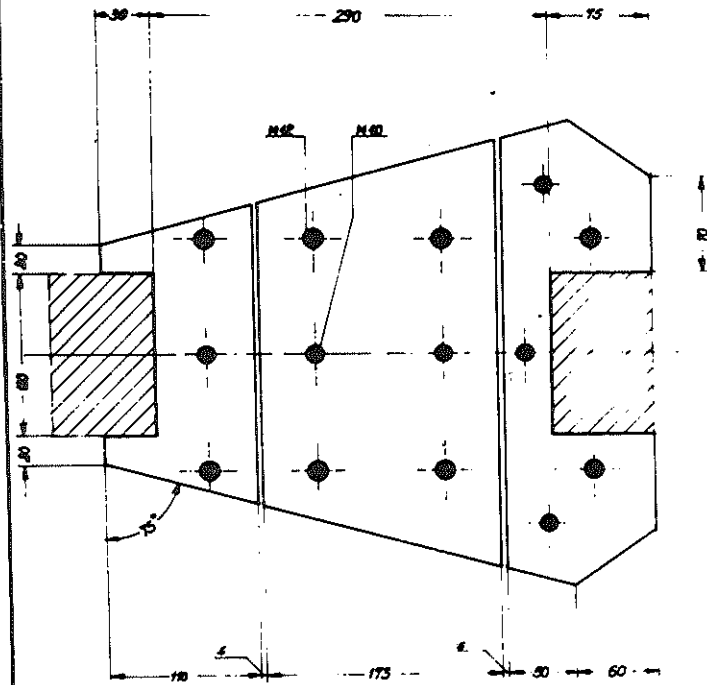
Ersatz für:
 x auf:
 ausgef. von:
 Auftrag No.:



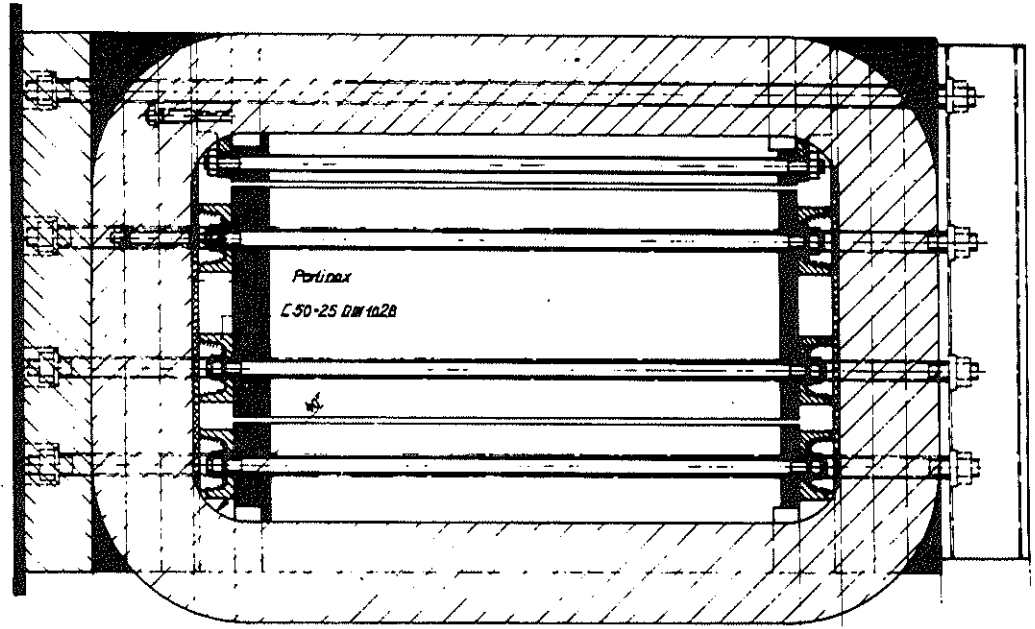
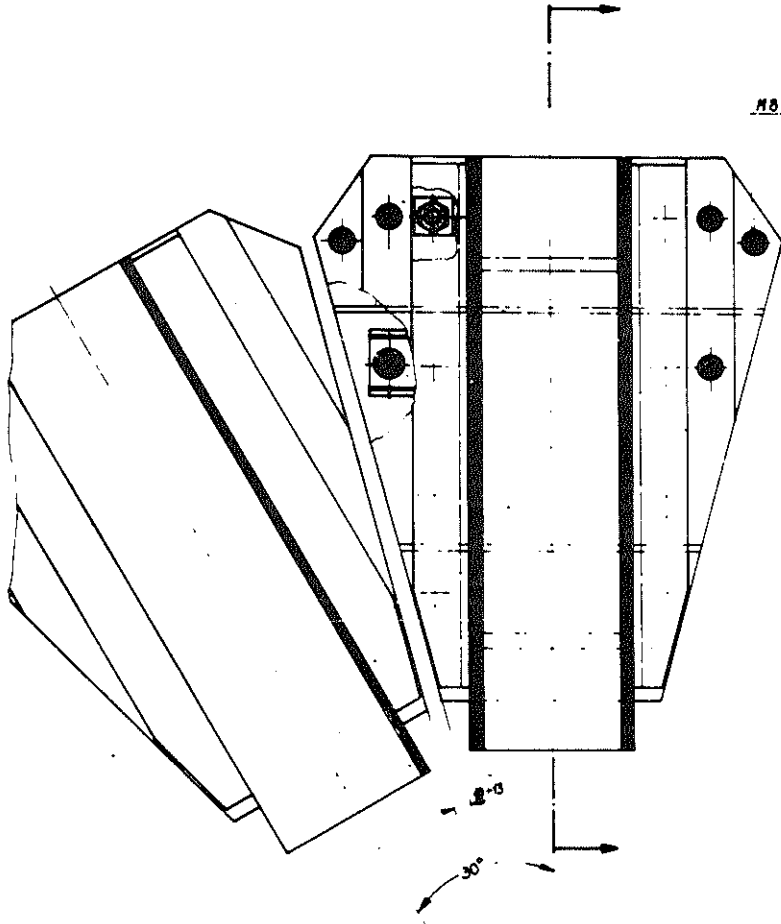
L = Magnetinduktivität pro Einheit
 L' = Drosselinduktivität pro Einheit
 C = Reihenkapazität pro Einheit
 C' = Sperrkreis Kapazität pro Einheit

695/30(4)

DESY	Date	Name	Gruppe: M6
	gez.: 29.7.60	<i>Krause</i>	Zchg. No.: 9
	gepr.: 29.7.60	<i>Griff</i>	Blatt No.: 2 (b)
Meßstab:	<u>Stromversorgung des</u> <u>Synchrotron - Magneten</u> <u>mit 12 Einheiten</u>		Ersatz für: 2
			Ersetzt durch:
			x ausf.:
			ausgef. von:
			Auftrag No.:



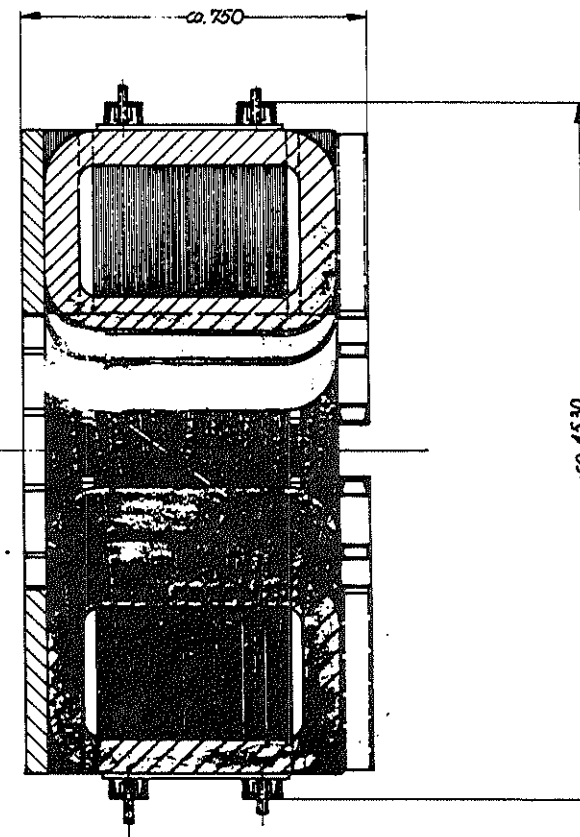
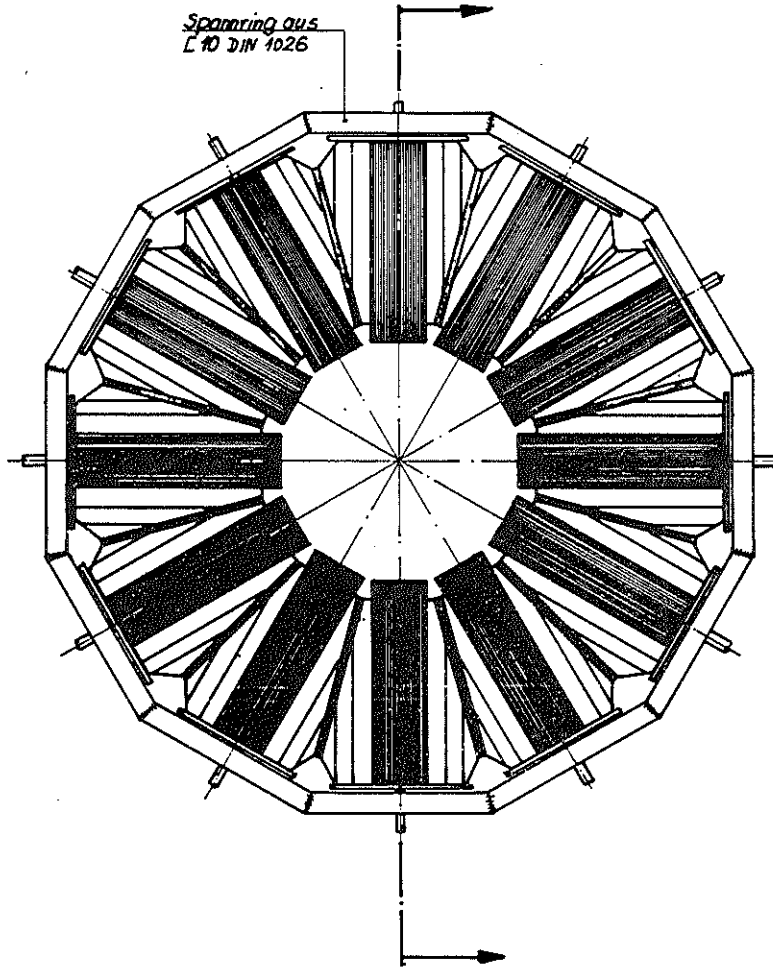
DESY		Scale: 1:2,5	Drawn: [Signature]	Checked: [Signature]
1:2,5		Ringdrossel-Modell		Group: 71
				Sheet No.: 1-1
				Scale: [Blank]
				Material: [Blank]
				Weight: [Blank]
				Part No.: [Blank]



← 50 → 75 → 30 → 420 ← 30 → 75 → 65 →

745

DESY		DATE 6.8.68 19.11.68	DESIGNER <i>Anger</i>	CHECKER <i>Styger</i>	GROUP 18
SCALE 1:25	TITLE Ringdrossel-Modell				DRAWING NO. 71 1-2
DRAWN BY					TRAINER
CHECKED BY					DATE
APPROVED BY					NO.



DESY	dat.	Datum	5.3.59	name	Reinhold Löffler	Gruppe	M6
	proj.	10.5.59				Zchg. No.:	71
	gen.					Blatt No.:	2
Maßstab:	1:10					Ersatz für:	
	Ringdrossel-Modell					Ersetzt durch:	
	Gesamtansicht					r. ausf.:	
						ausgef. von:	
						Auftrag No.:	