

DEUTSCHES ELEKTRONEN-SYNCHROTRON
(DESY)

Hamburg-Gr. Flottbek 1, Flottbeker Drift 56

DESY-Bibliothek

Desy-Notiz A 2.68

Hamburg, den 9. November 1960
M 6-Bo/F

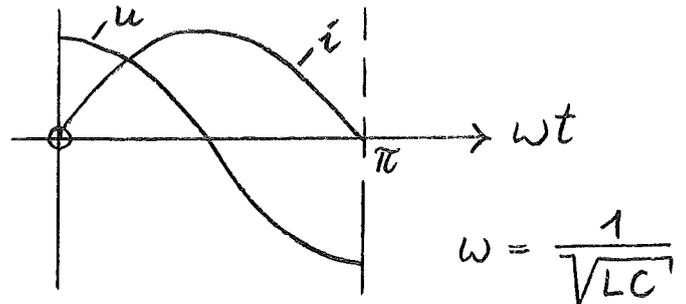
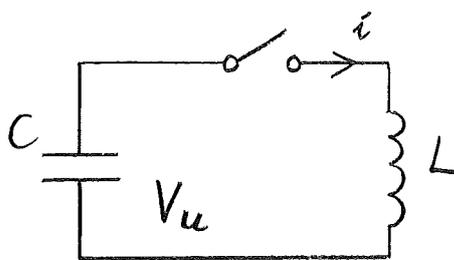
Magnetstromversorgung: Schaltung zur Erzeugung eines langen
Teilchenpulses

In den Notizen A 2.30 und A 2.42 waren Schaltungen angegeben worden, mit denen die Reduktion der Energiestreuung am Ende des Beschleunigungsvorganges dadurch erreicht wird, daß der Magnetstrom kurze Zeit konstant oder nahezu konstant gehalten wird. Mit beiden Verfahren und mit neueren Vorschlägen, die eine Überlagerung der dritten Oberwelle vorsehen, lassen sich bei einer Grundfrequenz des Magnetstroms von 50 Hz Zeiten von etwa 2 ms erreichen, innerhalb derer der Magnetstrom zeitlich konstant verläuft. Es wird kein grundlegender Eingriff in die bekannte Schaltung der Magnetstromversorgung vorgenommen. Die "Einschaltdauer" beträgt hierbei also etwa 10 %. Will man größere Einschaltdauer erreichen, so müssen andere Verfahren angewendet werden. Dafür wird in folgendem ein Vorschlag gemacht:

Die für die Magnetstromversorgung vorgesehene Schaltung mit 12 Einheiten zeigt die beiliegende Abbildung 695/30(4). Die wichtigsten Parameter dafür sind:

Magnetinduktivität/Einheit	$L = 0,116 \text{ H}$
Drosselinduktivität/Einheit	$L' = 0,232 \text{ H}$
Kapazität/Einheit bei $f = 50 \text{ Hz}$	$C + C' = 131,6 \text{ } \mu\text{F}$
Gespeicherte Energie (Scheitelwert) eines Drosselsektors	$W'/12 = 0,12 \cdot 10^6 \text{ Ws}$
Effektivwert des Drosselstromes	$I' = 722 \text{ A}$
Vorgesehene Nennspannung für die Kondensatoren 4 x 4,25 kV od. 2 x 8,5 kV	17 kV
Vorgesehene Blindleistung der Kond. (138 μF)	12,5 MVA/Einh.
Magnetstrom bei Endenergie 7,5 GeV	$i = 1264 \text{ A}$

Die vorgeschlagenen Kurvenformen der Ströme und Spannungen zeigt die Abbildung 695/34(4). Der die Endenergie der Teilchen bestimmende Maximalwert des Stromes der Magnete wird durch die Gleichstromquelle erzeugt und ausreichend genau stabilisiert. Die obere Grenze der Zeitdauer für $i = \text{const}$ ist also - im Gegensatz zu den oben genannten Verfahren - unbeschränkt; begrenzt ist sie dagegen nach unten. Die Ab- und Aufmagnetisierung der Führungsmagnete geschieht durch Stromhalbwellen, deren Scheitelwert etwa gleich der Grösse des Gleichstromes ist. Sie werden durch die Entladung von vorher aufgeladenen Kondensatoren erzeugt. Bei verlustfreien Schaltelementen ergibt sich dann das folgende Zeitverhalten:



Der Schalter öffnet nach einer Halbwelle, und an seinen Polen erscheint sofort der Scheitelwert der Spannung, welche nun negativ ist und den Kondensator umgekehrt aufgeladen hat. Nach der wechselstromfreien Pause wird der Vorgang wiederholt, wobei der Strom in den Führungsmagneten die gleiche Richtung haben soll. Um das zu erreichen, ist es nötig, den Kondensator umgekehrt gegenüber dem ersten Vorgang an die Induktivität zu schalten. Eine entsprechende Schaltung für die Stromversorgung des Synchrotrons zeigt die Abbildung 695/33(4). Als Schalter werden Quecksilberdampfstromrichter vorgesehen, die in Brückenschaltung angeordnet sind. Da in allen Einheiten gleichzeitig zu- und abgeschaltet werden muß, ist es erforderlich, daß die Zünd- und Löschvorgänge der Ventile synchron erfolgen. Wahrscheinlich kommen deshalb Ignitrons nicht in Betracht. Die Kapazitäten und Induktivitäten haben Wirkverluste, die sich so

auswirken, daß die Spannung der Kondensatoren nach dem Löschen des Stromes niedriger ist als vor dem Zünden. In den wechselstromfreien Pausen werden deshalb die Kondensatoren über besondere Ladeeinrichtungen nachgeladen.

Zur Dimensionierung: Geht man davon aus, daß die für die normale Erregung der Führungsmagnete vorgesehenen Elemente ausreichen sollen, so ist die maximale Aussteuerung begrenzt durch die Drosselspule, durch die Gleichstromquelle und durch die Ventile hinsichtlich deren Sperrspannung und Strombelastbarkeit. Außerdem muß mit Rücksicht auf die Modulatoren des Linearbeschleunigers gefordert werden, daß die Periodendauer des ganzen Vorgangs ein ganzzahliges Vielfaches von 20 ms ist. Die Kondensatoren jeder Batterie sind vierfach in Reihe geschaltet (4 x 4,25 kV), und es kommen deshalb nur Umschaltungen in Frage, bei denen die 50 Hz-Spannung der Kondensatoren entweder 4,25 kV oder 8,5 kV beträgt. Für eine Periodendauer von 40 ms und eine Frequenz von 25 Hz der Wechselstromhalbwellen sind folgende Kombinationen denkbar:

- a) Bildung von $m = 6$ Einheiten anstatt $m = 12$ dadurch, daß jeweils 8 Magnetsektoren (4F + 4D) und 2 Drosselsektoren in Reihe geschaltet werden. Es werden dann nur 6 Kondensatorbatterien gebraucht, die nicht geändert werden, die übrigen 6 sind überflüssig. Nachteile: Hohe Spannungen für die Stromrichter pro Zweig; neue Verkabelung, auch mit Rücksicht darauf, daß die F-Sektoren erdnah liegen sollen.
- b) Bildung von $m = 24$ Einheiten: jeweils nur 2 Magnetsektoren (F + D) pro Einheit. Es müssen 24 Drosselsektoren vorhanden sein, was die Wahl des Typs der Drossel beeinflusst (viele Durchführungen bei Ölkessel-Ausführung). Außerdem müßten zusätzlich Kabel verlegt werden. Niedrige Spannungen für die Stromrichter; Umschaltung der Kondensatoren auf 4,25 kV.

c) Die Schaltung bleibt wie bisher mit $m = 12$ Einheiten. Die Kondensatoren werden lediglich von $4 \times 4,25$ kV in Serie umgeschaltet auf: $2 \times 4,25$ kV in Serie und vierfache Kapazität.

Es wird weiterhin nur die Variante c) betrachtet, da sie die wenigsten Eingriffe in die vorhandene Schaltung bedingt. Gegenüber b) treten hier die doppelten Sperrspannungen pro Zweig für die Ventile auf, jedoch ist die Grund-Anzahl (48) nur halb so hoch.

Die Energie der Drossel wird erreicht bei einem Gleichstrom I_0 .

$$I_0 = \frac{1}{1,5} \sqrt{\frac{W^0}{6 L'}} = 682 \text{ A}$$

Der Stromverlauf hat die Form

$$\begin{aligned} 0 \leq \omega t \leq \pi & \quad i' = I_0 (1 + 0,5 \sin \omega t) \\ \pi \leq \omega t \leq 2\pi & \quad i' = I_0 \end{aligned}$$

Der Effektivwert ergibt sich aus:

$$I' = I_0 \sqrt{\left(\frac{1}{2\pi} + \int_0^\pi i'^2 d\omega t\right)} = 1,176 I_0$$

Der mit Rücksicht auf die Wicklungserwärmung zulässige Strom beträgt 722 A. Das begrenzt die maximale Aussteuerung auf $I_0 = 615$ A.

Man erhält damit die folgenden Grund-Parameter der neuen Schaltung:

Max. Magnetstrom	$I_0 = 615 \text{ A}$
Wiederholungsfrequenz des Magnetzyklus	25 Hz
Frequenz der Wechselstromhalbwellen	25 Hz
Max. magnetische Induktion der Magnete	3840 G
Endenergie	3,65 GeV
Scheitelwert der Spannung	$\hat{U} = 11,2 \text{ kV}$
<u>Kondensatoren:</u> Frequenz	12,5 Hz
Scheitelwert der Spannung	$\hat{U}_c = 11,2 \text{ kV}$
Effektivwert der Grundwellen-Spannung	9,5 kV
Effektivwert der 3. Spannungsoberwelle (37,5 Hz)	1,7 kV

Schaltung: 8,5 kV oder 2 x 4,25 kV; 4 x 131,6 μ F parallel	
Grundwellen-Blindleistung einer Batterie	3,73 MVA
Blindleistung der 3. Oberwelle einer Batterie	0,36 MVA

Ventile:

Scheitelwert der Sperrspannung unmittelbar nach dem Löschen des Stromes für 1 Ventil	$\hat{U}/2 = 5,56 \text{ kV}$
Größte Sperrspannung in beiden Richtungen für 1 Ventil, Scheitelwert	$\hat{U} = 11,2 \text{ kV}$
Scheitelwert des Stromes	$\hat{I}_c = 923 \text{ A}$
Effektivwert des Stromes für 1 Ventil	$\hat{I}_c / \sqrt{8} = 327 \text{ A}$

Die bisher vorgesehenen Schaltungselemente der Magnetstromversorgung begrenzen den Einsatz bis auf etwa die halbe Endenergie. Die vorgeschlagene Schaltung ist unwirtschaftlicher als die normale Erregung der Führungsmagnete, da der Gleichstrom die Größe des max. Magnetstroms hat, wogegen er bei der normalen Schaltung nur die Hälfte dieses Wertes beträgt.

Zur Aufladung der Kondensatoren: Die wechselstromfreien Pausen von 20 ms, während welcher die Kondensatoren von den Magneten und Drosselspulen galvanisch getrennt sein müssen, soll zur Nachlieferung der Wechselstrom-Energie benutzt werden. Die Wechselstromverluste werden bei der größten Aussteuerung 400 kW nicht übersteigen. Die Nachladung soll mit Impulsen erfolgen, wobei die halbe Periodendauer der Impulsfrequenz $< 20 \text{ ms}$ sein muß. Eine entsprechende Schaltung wird von CEA für die Wechselstromerregung des 6 GeV-Synchrotrons vorgesehen und wurde im CEA-Bericht No. 68 vom 1. 12. 1958 beschrieben. Eine (wegen der Polaritätsumkehr) modifizierte Schaltung zeigt Abbildung 695/32(4). Die Pulsfrequenz

$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_p C_F}}$ müßte hier etwa 90 Hz betragen, und nach der von CEA vorge-
sehenen Auslegung soll dann für $f_F = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_F C_F}}$ 7,5 Hz gewählt werden.

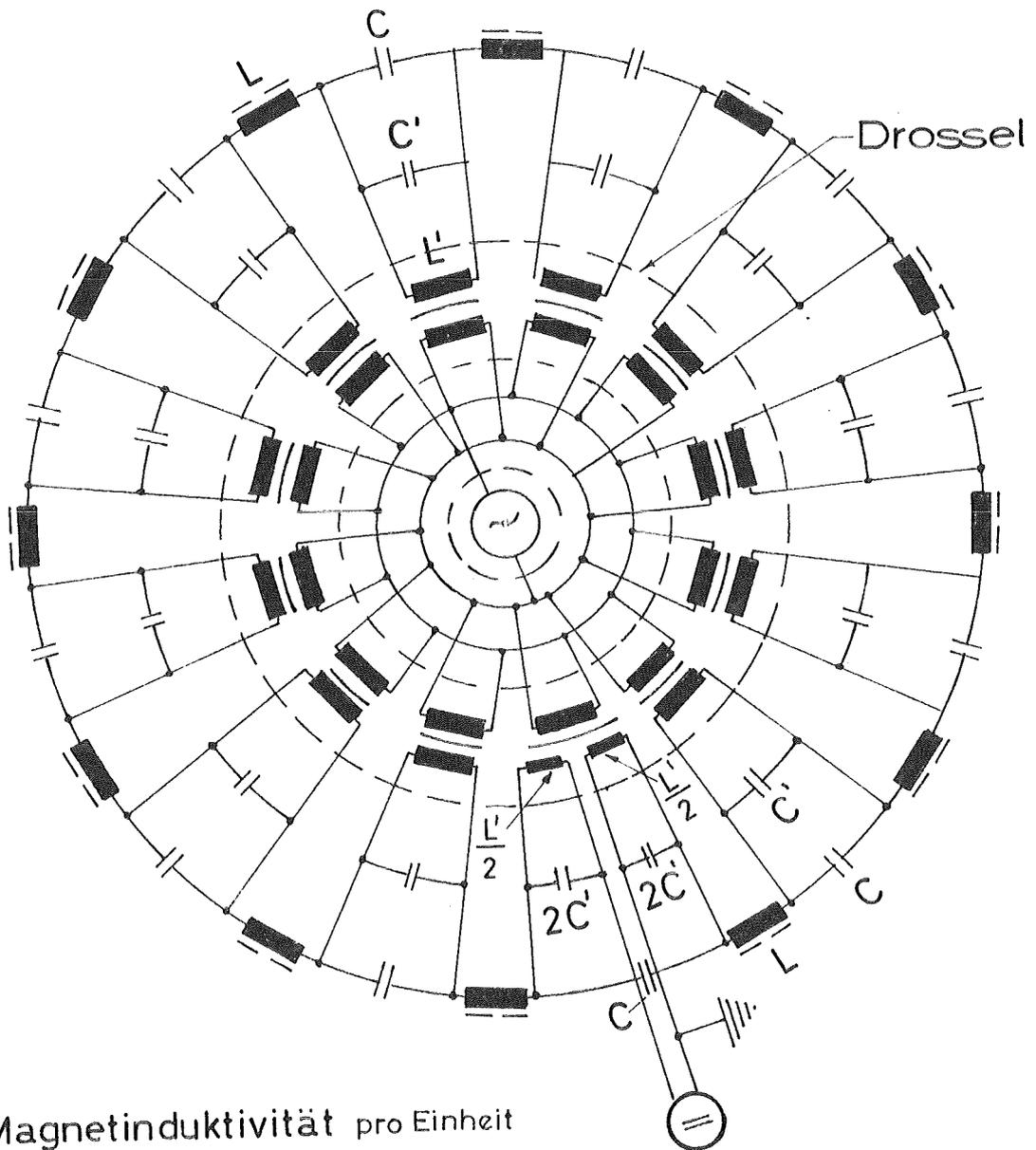
Weiter gilt: $U_c = U_G = 11,2 \text{ kV}$ (Scheitelwert) und, damit vollständige Entladung des Kondensators C_F erreicht wird:

$U_{CF} = 2 U_c = 22,4 \text{ kV}$. Mit der maximalen Wirkleistung von 400 kW ergeben sich folgende Parameter:

i_F (Mittelwert): 36 A; $\tau = 9,3 \text{ H}$; $C_F = 47,8 \text{ } \mu\text{F}$; $L_p = 65,3 \text{ mH}$

Der Scheitelwert der Sperrspannung der Ventile beträgt etwa $1,5 U_c$ für jede Einheit. Jeder Stromrichter führt einen Strom mit einem Scheitelwert von etwa 25 A und einem Effektivwert von etwa 5 A.

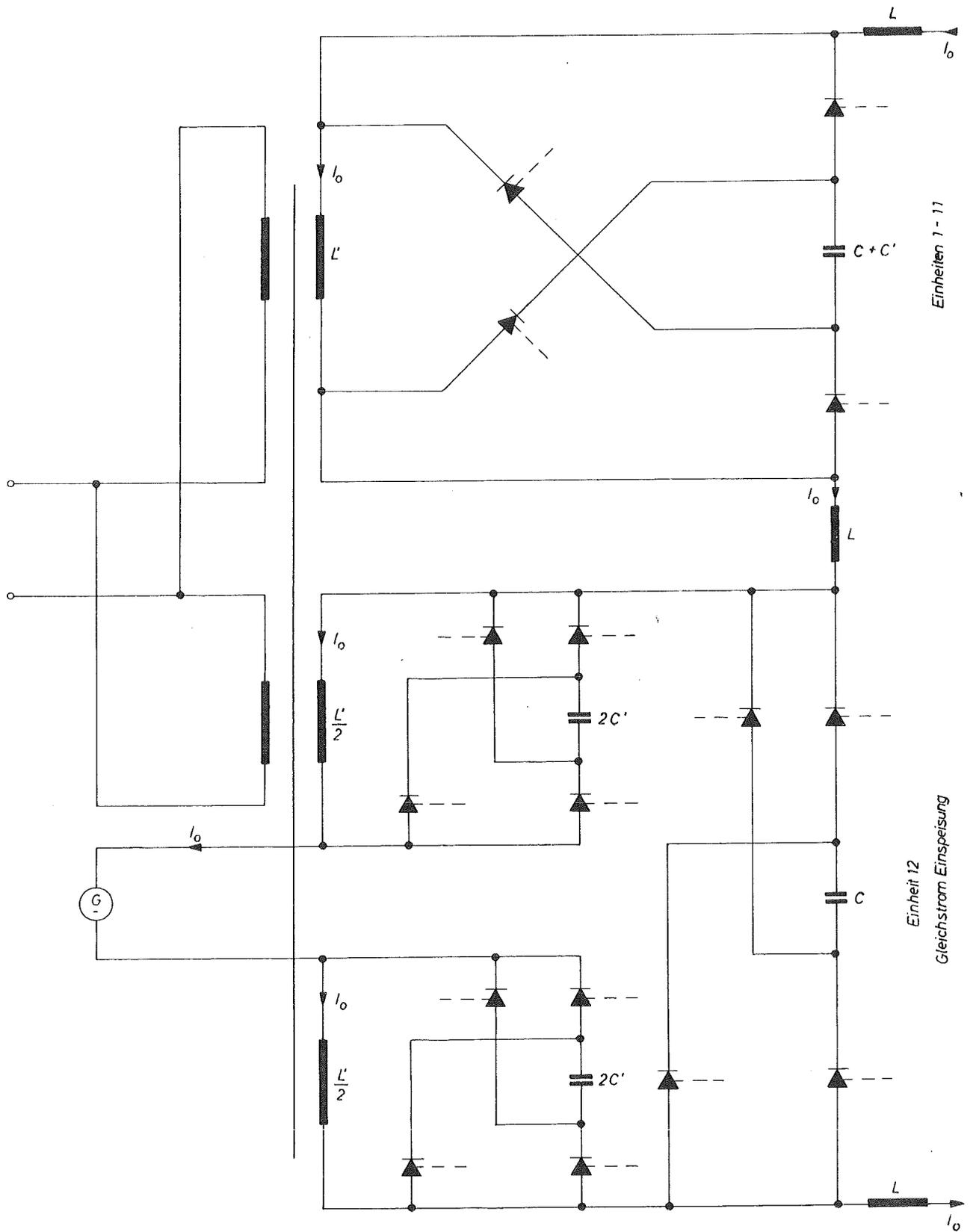
gez. Bothe



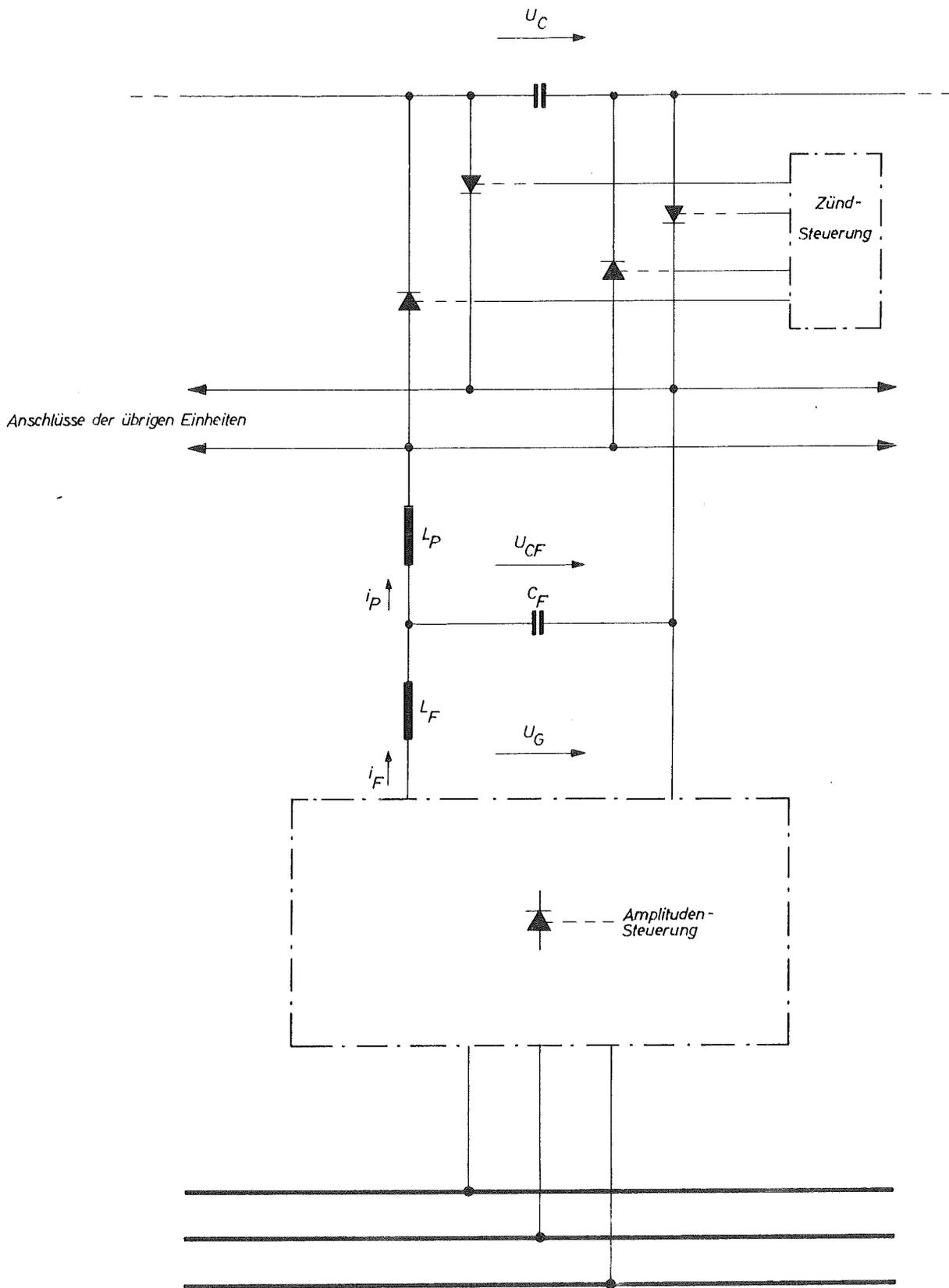
L = Magnetinduktivität pro Einheit
 D = Drosselinduktivität pro Einheit
 C = Reihenkapazität pro Einheit
 C' = Sperrkreiskapazität pro Einheit

695/30(4)

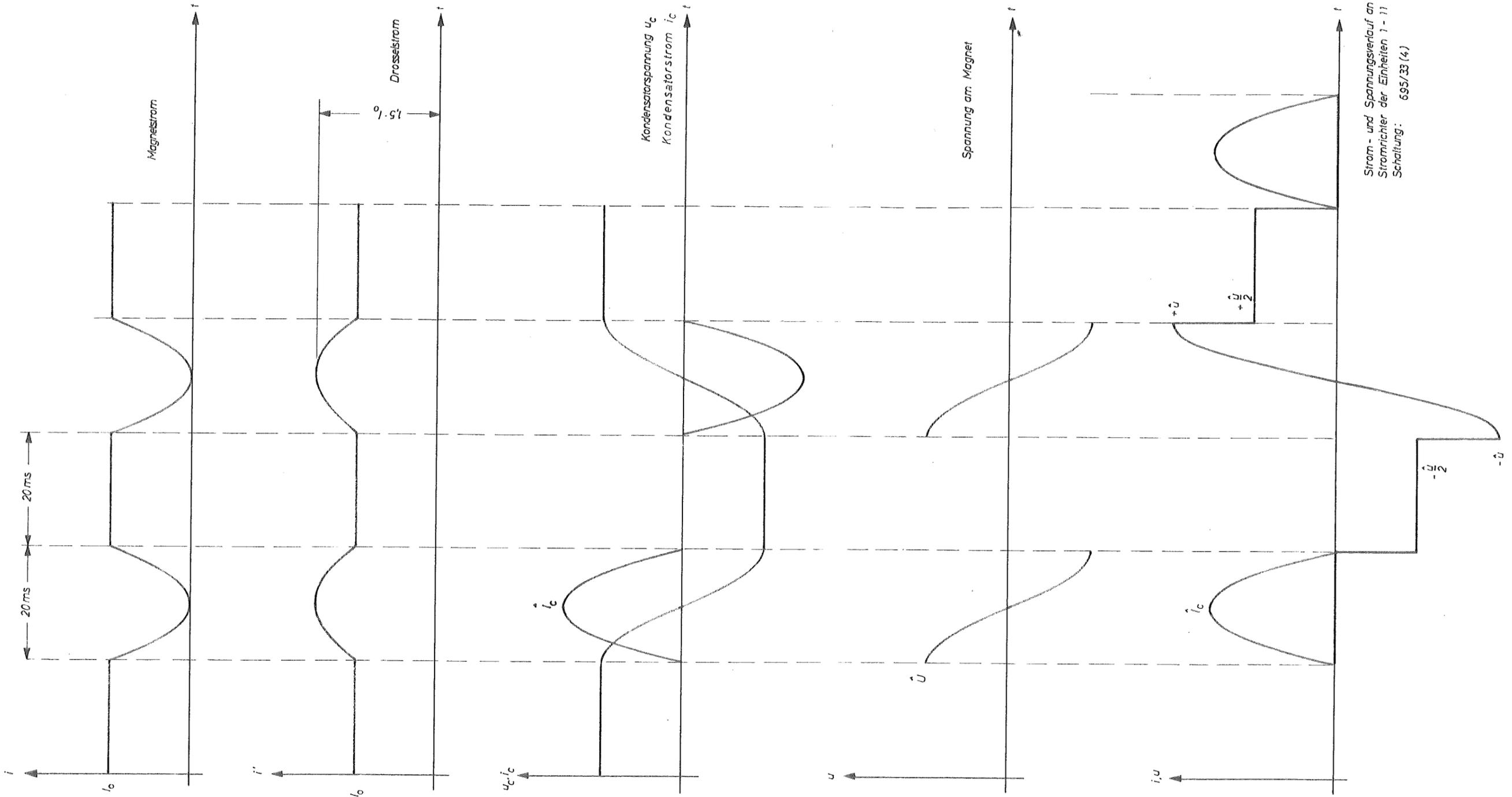
DESY	gez.:	Datum	Name	Gruppe: M6
	gepr.:	29.7.60	<i>Kraus</i>	Zchg. No.: 9
	gen.:	29.7.60	<i>EvMa</i>	Blatt No.: 2 (b)
Maßstab:	<u>Stromversorgung des</u> <u>Synchrotron -Magneten</u> <u>mit 12 Einheiten</u>			Ersatz für: 2
				Ersetzt durch:
				x ausf.:
				ausgef. von:
				Auftrag No.:



DESY	1960	Datum	Name	Gruppe: M6
	gez.:	25.11.		Zchg. No.: 695/33 (4)
	gepr.:			Blatt No.:
	gen.:			Ersatz für:
Maßstab:	Schaltung zur Erzeugung eines langen Pulses			Ersetzt durch:
				x ausf.:
				ausgef. von:
				Auftrag No.:



DES Y	1960	Datum	Name	Gruppe: M6
	gez.:	25.11.		Zchg. No.: 695/32 (4)
	gepr.:			Blatt No.:
	gen.:			Ersatz für:
Maßstab:	Impuls-Ladeschaltung nach CEA 68			Ersetzt durch:
				x ausf.:
				ausgef. von:
				Auftrag No.:



Strom- und Spannungsverlauf an einem Stromrichter der Einheiten 1-11 in der Schaltung: 695/33 (4)

DESY	1961	Datum	Namg.	Gruppe: M6	
	gez.:	4.1.			Zchg. No.: 695/34 (3)
	gepr.:				Blatt No.:
	gen.:				Ersatz für:
Maßstab:	Ströme und Spannungen bei Erzeugung des langen Pulses			Ersetzt durch:	
				x ausf.:	
				ausgef. von:	
				Auftrag No.:	