

Interner Bericht
DESY K-69/1
März 1969

Optimierung der Magnetstromschaltungen zur
Erzeugung eines langen Teilchenpulses

von

DESY-Bibliothek
21. MRZ. 1969 ✓

Werner Bothe

Optimierung der Magnetstromschaltungen zur Erzeugung eines langen Teilchenpulses

von

Werner Bothe

Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, Hamburg

Zur Erzeugung eines langen Teilchenpulses durch Einführung eines horizontalen Plateaus ("flat-top") im Magnetstrom, werden bei DESY gegenwärtig 3 Schaltungen des Magnetstromkreises diskutiert:

"Schaltung I" nach EV 31 (200 Hz-Sperrkreise), Einfügung von Drosselspulen in Reihe zu den Kondensatoren und Kompensation gemäß S1-Bericht Nr. 22, hier als "Schaltung IV" bezeichnet, und Schaltung von Drosselspulen in Reihe zu den Führungsmagneten und Kompensation nach EV 40, hier "Schaltung III" genannt. Die Schaltungen III und IV eignen sich sowohl zur Oberwellenüberlagerung als auch zum Pulsen, und beide Arten der Zusatzerregung lassen sich durch wenige Manipulationen ineinander überführen. Außerdem kann man als Stromquelle für die Oberwelle einen Serien-Wechselrichter als Schwingkreis-Wechselrichter, dessen Technik uns bekannt ist, einsetzen. Eine solche Erregung ist bei Schaltung I wesentlich komplizierter. Wegen dieser Vorzüge werden hier nur die Schaltungen III und IV weiter betrachtet und für beide die optimalen Größen der zusätzlichen Bauelemente ermittelt. Die Nenngrößen für beide Schaltungen sind auf dem beiliegenden Blatt 665/40.1-9(4) zusammengestellt, wobei die Bezeichnungen des Schaltbilds 665/40.1-8(4) zugrundeliegen.

Ermittlung der Größe der Zusatzdrosseln

Für die Überlagerung der 4. Harmonischen ist $\xi = 8,5\%$; für Pulsüberlagerung von 3,3 ms Dauer (bei 7,5 GeV) $\xi = 12,5\%$ erforderlich. Die optimalen Werte nach Spalte 6 lauten dann:

y_0	Schaltung III	Schaltung IV
$\xi = 0,085$	0,083	0,058
$\xi = 0,125$	0,122	0,081

Die zulässige Spannungserhöhung $\frac{\Delta U}{U}$ beträgt, wenn man 18 kV (Effektivwert) als Grenzspannung für die vorhandenen Kondensatoren C ansieht, 0,128. Sie ist gegeben durch

$\frac{\Delta U}{U}$	Schaltung III	Schaltung IV
Überlagerung der 4. Oberwelle	y	$y (1+x) = 1,45 y$
Pulsüberlagerung 3,3 ms	$y + \frac{\xi}{2}$	$y (1+x) + \frac{\xi}{2}$

Damit ergeben sich folgende Werte für y_{\max}

y_{\max}	Schaltung III		Schaltung IV	
	Oberwelle	Puls	Oberwelle	Puls
$\xi = 0,085$	0,128	0,085	0,088	0,057
$\xi = 0,125$	-----	0,065	-----	0,043

Daraus ist ersichtlich, daß man mit den optimalen Werten y_0 , die aus der Bedingung, daß die gespeicherte Energie der Zusatzelemente ein Minimum ist, errechnet wurden für $\xi = 12,5\%$ (Pulsüberlagerung) weit über den zulässigen Werten von y liegt. Bei Schaltung IV gilt das auch für die Oberwellenlösung.

Für die praktische Ermittlung des optimalen Wertes von y für niedrigste Investitionskosten muß davon ausgegangen werden, daß für die 200 Hz-Kondensatoren die Blindleistung zugrunde zulegen ist (allerdings mit einer Kostenreduktion gegenüber 50 Hz), für die Drosseln die gespeicherte Energie bzw. 50 Hz-Blindleistung, jedoch mit einem konstanten Aufpreis gegenüber 50 Hz. Setzt man als kVA-Preis im betrachteten Leistungsbereich ein:

Drossel DM 17,--/kVA (50 Hz)

Kondensatoren mit Zubehör und Montage DM 13,--/kVA (200 Hz)

so ergeben sich als optimale Werte y_{opt} , wenn man für die Zusatzdrosseln $\hat{I} = \sqrt{2} \bar{I}$ voraussetzt für $\nu = 4$:

$$\text{Schaltung III} \quad y_{opt} \approx \frac{\xi}{1 + \frac{\xi}{2}} = 8,2 \cdot 10^{-2}$$

$$\text{Schaltung IV} \quad y_{opt} \approx \frac{\frac{\xi}{2}}{1 + \xi} = 11,7 \cdot 10^{-2}$$

Unter der Voraussetzung, daß die vorhandenen Kondensatoren *n i c h t* aufgestockt werden sollen, wird nun der Gesamt-Investitionsaufwand für die Einfügung der 4. Oberwelle betrachtet. Er setzt sich zusammen aus: Zusatzdrossel L_z , Zusatzkondensatoren C_2 , Stromquelle zur Aufbringung der Wirkleistung P_2 , wobei eine Güte $Q = 70$ für die 200 Hz-Resonanzkreise angenommen wird und schließlich einem festen Kostenanteil von DM 150.000,-- für Baumaßnahmen, Verkabelungen und sonst. Installationen. Für L_z und C_2 werden die o.a. Einheitspreise zugrunde gelegt und für die Stromquellen (einschl. 40% Reserve)

450 kW	660 kW
DM 300.000,--	DM 370.000,--

Die Aufstellung wird für 3 Werte von y gemacht; als zusätzliche Größe wird noch die Primärspannung U_2^* der Gesamtschaltung mit aufgeführt. Bei richtiger Wahl des Erdungspunktes tritt gegen Erde $\frac{U_2^*}{2}$ auf.

	Schaltung III $y_{opt} = 0,082$ $y_{max} = 0,128$		Schaltung IV $y_{max} = 0,088$
C_2 , MVA 200 Hz	32,4	21,5	31,5
P_2 MW	0,47	0,31	0,45
L_z Baugröße in MVA, 50Hz	62,5	75	44,2
$\frac{1}{2} U_2^* = U_2$ kV	36	24	25
Geschätzte Gesamt- kosten KDM	2000	2000	1680

Die Schaltung IV "Drosselspulen in Reihe zu den Kondensatoren" ist demnach die wirtschaftlichste. Die Drosselspulen haben mit $L_2 = 10,1 \text{ mH}$ etwa die gleiche Induktivität wie die nach Schaltung I, sind jedoch wesentlich größer, da die 50 Hz- und 200 Hz-Komponenten in getrennten Wicklungen auftreten. Unter Ausnutzung der Toleranz $\frac{\Delta \xi}{\xi} = \pm 0,25 \%$ läßt sich die so ausgelegte Schaltung IV mit den folgenden Daten für eine Pulsüberlagerung verwenden; der Teilaussteuerungsgrad bestimmt sich dabei aus

$$\alpha_1 = 1 - \frac{\xi}{2\left(\frac{\Delta U}{U} + 1\right)}$$

mit Rücksicht auf die zulässige Spannung an C_2

$$\alpha_2 = \frac{0,106}{(1+k) \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\xi}{Z}\right) + \frac{\xi}{Z}}$$

mit Rücksicht auf den magnetischen Fluß von L_z

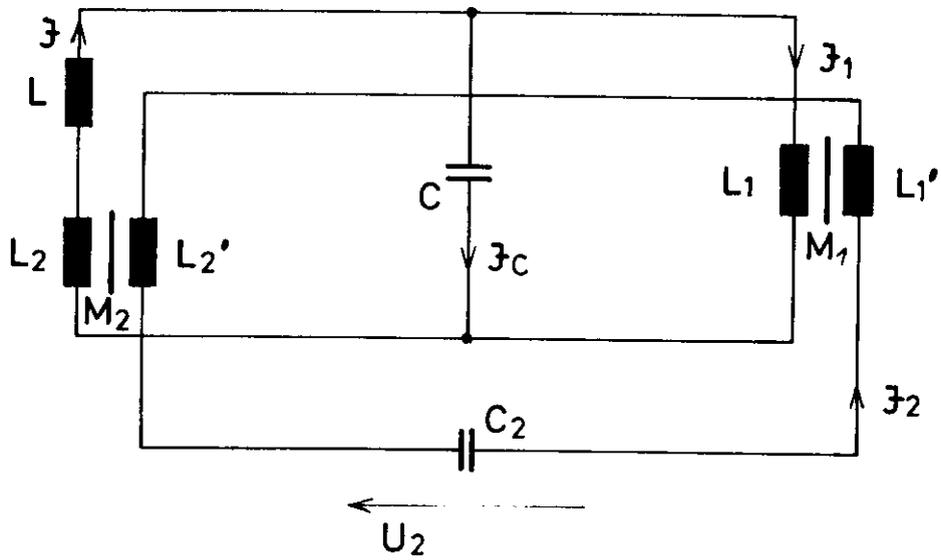
Pulsdauer	3 ms	3,33 ms	3,66 ms	4 ms
$\alpha_1 =$	0,96(7,2GeV)	0,95(7,1GeV)	0,933(7,0GeV)	0,92(6,9GeV)
$\alpha_2 =$	0,915(6,8GeV)	0,813(6,1GeV)	0,733(5,5GeV)	0,661(4,9GeV)

Die durch α_1 gegebenen Grenzen für die Aussteuerung sind bindend; α_2 ergibt sich aus der Größe der Zusatzdrosseln für die Oberwellenüberlagerung und läßt sich vergrößern mit der Baugröße von L_z . Für die höchstbelastete Ausgleichswicklung der Summendrossel, die jetzt 100 A führt, steigt der Strom bei Oberwellenüberlagerung auf 147 A. Damit dürfte die zulässige Beanspruchung erreicht sein.

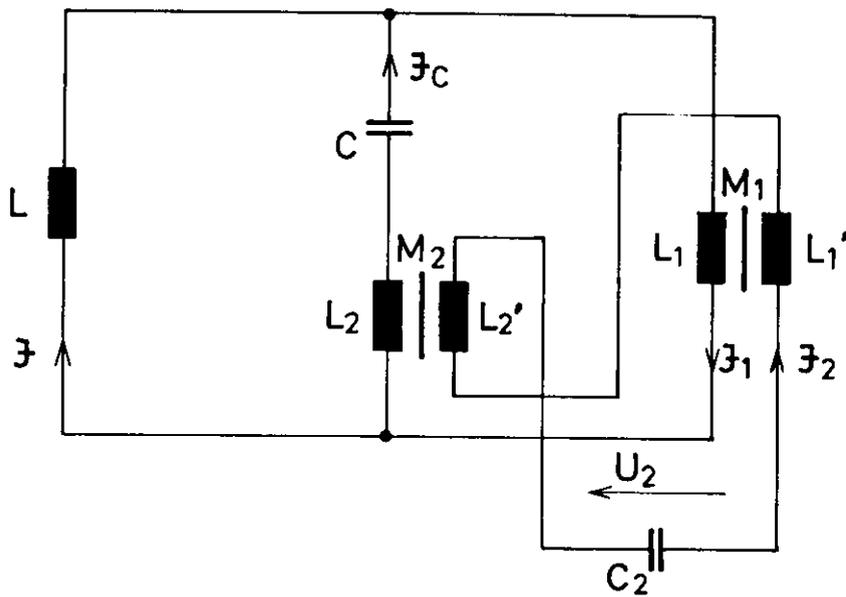
Anlage

Schaltbild 665/40.1-8(4)
665/40.1-9(4)

Schaltung III



Schaltung IV



DESY

gez.
gepr.

Tag
18.2.69

Name
H. Bomer

Schaltungen III u. IV
für Überlagerung der 4. Harmonischen des
Magnetstromes 665/40.1-8 (4)

Schaltung III

Schaltung IV

Kompensationsbedingung	$M_2 = \frac{L}{\ddot{u}} (1+y)$	$M_2 = \frac{1}{\ddot{u}} \frac{L}{1+x}$
$\frac{L_2'}{L} =$	$\frac{(1+y)^2}{\ddot{u}^2 y}$	$\frac{1}{\ddot{u}^2 y (1+x)^2}$
$\mathfrak{F}_{2V} =$	$\ddot{u} \cdot \mathfrak{F}_V$	$\ddot{u} (1+x) \mathfrak{F}_V$
$\frac{2W_{Lz}}{\overset{\Delta}{I}^2 L} =$	$y + \frac{\varepsilon^2 (1+y)^2}{4 y} + \varepsilon (1+y)$	$\frac{1}{4} \left[(1+x)^2 y + \frac{\varepsilon^2}{y} + 2\varepsilon (1+x) \right]$
$\frac{2W_{C2}}{\overset{\Delta}{I}^2 L} =$	$\frac{\varepsilon^2}{4} \left(\frac{1}{y} + 1 \right)$	$\frac{\varepsilon^2}{4} \left[\frac{1}{y} + (1+x) \right]$
$\frac{d(W_{Lz} + W_{C2})}{dy} = 0$ für y_0	$y_0 = \frac{\varepsilon}{1 + \frac{\varepsilon}{2}} \frac{1}{\sqrt{2}}$	$y_0 = \frac{\varepsilon}{1+x} \sqrt{2}$
$\left(\frac{2 W_{Lz}}{\overset{\Delta}{I}^2 L} \right)_0$	$\frac{\varepsilon (1 + \frac{\varepsilon^2}{4})}{(1 + \frac{\varepsilon}{2}) \sqrt{2}} + \frac{\varepsilon}{4} \left(1 + \frac{\varepsilon}{2} \right) \sqrt{2} + \varepsilon + \frac{\varepsilon^2}{2}$	$\varepsilon \frac{1+x}{4} (2 + 1,5 \sqrt{2})$
$\left(\frac{2 W_{C2}}{\overset{\Delta}{I}^2 L} \right)_0$	$\frac{\varepsilon^2}{4} \left(\frac{\sqrt{2}}{\varepsilon} + \frac{1}{\sqrt{2}} + 1 \right)$	$\varepsilon \frac{1+x}{4} \left(\varepsilon + \frac{1}{\sqrt{2}} \right)$
Ersatzinduktivität $\frac{U_2}{j\omega \mathfrak{F}_2} =$	$\frac{L}{\ddot{u}^2} \left(1 + \frac{1}{y} \right)$	$\frac{L}{\ddot{u}^2} \left(\frac{1}{y(1+x)^2} + \frac{1}{1+x} \right)$
Primärspannung $\frac{U_2}{U} =$	$\frac{V\varepsilon}{\ddot{u}} \left(\frac{1}{y} + 1 \right)$	$\frac{V\varepsilon}{\ddot{u}} \left(\frac{1}{y(1+x)} + 1 \right)$
Primärblindleistung $\frac{Pr_2}{U \cdot I_{\sim}} =$	$V\varepsilon^2 \left(\frac{1}{y} + 1 \right)$	$V\varepsilon^2 \left(\frac{1}{y} + 1 + x \right)$

Abkürzungen:

 L_z : Zusatzdrossel mit L_2, L_2' u. M_2
 $X = \frac{L}{L_1}$; $y = \frac{L_2}{L}$; $\varepsilon = \frac{\overset{\Delta}{I}_y}{\overset{\Delta}{I}_{\sim}}$: Relativer Anteil des überlagerten Stromes am Magnetwechselstrom

 $U = I_{\sim} \omega_0 L$; $\omega_0 = 2\pi \cdot 50^s$; V : Ordnungszahl der Oberwelle, geradzahlig

 \ddot{u} = Wirkames Übersetzungsverhältnis der Summendrossel, Hauptwicklung: Ausgleichwicklung.

Bei 6-facher Parallelschaltung der Wicklungen L_2' ist $\ddot{u} = 2$; bei Reihenschaltung ist $\ddot{u} = 12$

DESY	gez.	Tag	Name	665/40.1-9 (4)
	gepr.	20.2.69	<i>A. Berna</i>	
Kennzeichnende Größen der Schaltungen III u. IV zur Oberwellen-Überlagerung des Magnetstromes				Hierzu gehört Schaltbild: 665/40.1-8 (4)