

РАСЧЕТ КОМПЕНСИРУЮЩЕГО ТРАНСФОРМАТОРА

И. П. ЧУЧАЛИН, М. Ф. ФИЛИППОВ

(Представлено научным семинаром физико-технического факультета)

В схемах питания электромагнита бетатрона с подмагничиванием постоянным током должна быть предусмотрена компенсация э.д.с., наводимой в обмотке постоянного тока. Для компенсации э.д.с. используется так называемый компенсирующий трансформатор, который отличается от обычного трансформатора тем, что по виткам одной из обмоток его протекает постоянный ток, достигающий иногда значительной величины.

В настоящей работе приводится метод расчета компенсирующего трансформатора. В этом методе, в отличие от известных методов расчета, имеется возможность более обоснованного выбора всех размеров и параметров компенсирующего трансформатора, в том числе и величины воздушного зазора, неизбежного в сердечнике трансформатора.

Компенсирующий трансформатор может быть использован не только в схемах питания бетатронов, но и в других схемах, где применяется подмагничивание постоянным током. Расчет компенсирующего трансформатора проведен применительно к одному из импульсных бетатронов с подмагничиванием постоянным током центрального ускоряющего магнитного потока.

Подмагничивание осуществляется с помощью дополнительной обмотки, намотанной вокруг центрального сердечника.

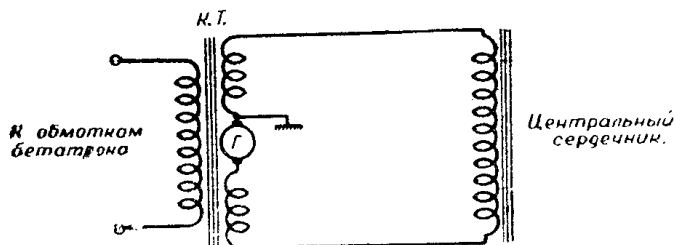


Рис. 1

На рис. 1 представлена цепь постоянного тока с компенсирующим трансформатором (К. Т.).

В центральном сердечнике электромагнита бетатрона, так же, как и в сердечнике компенсирующего трансформатора, при подмагничивании будут две составляющие магнитного потока: переменная и постоянная.

В центральном сердечнике постоянная и переменная составляющие индукции имеют противоположные направления (рис. 2).

Для компенсации э.д.с., наведенной в обмотке постоянного тока, витки первичной обмотки компенсирующего трансформатора должны быть рассчитаны так, чтобы в витках вторичной обмотки его возникла э.д.с., равная и противоположно направленная э.д.с. обмотки постоянного тока. При этом в сердечнике компенсирующего трансформатора переменная и постоянная составляющие индукции оказываются направленными в одну и ту же сторону (рис. 3).

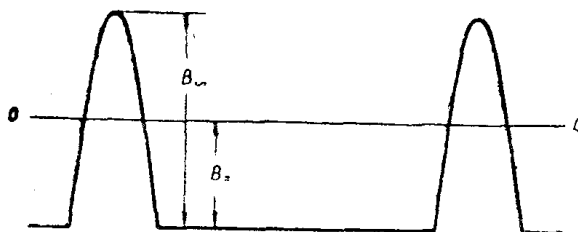


Рис. 2

Если перезаряд батареи конденсаторов происходит через обмотки электромагнита, сердечник компенсирующего трансформатора должен рассчитываться на максимальное значение индукции (рис. 4)

$$B_m = B_\alpha + B_\omega$$

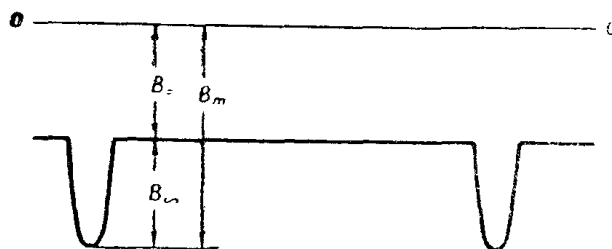


Рис. 3

Если на пути магнитного потока имеется значительный воздушный зазор, то магнитное сопротивление стали по сравнению с сопротивлением зазора будет мало. Для упрощения расчета можно пренебречь магнитным сопротивлением стали.

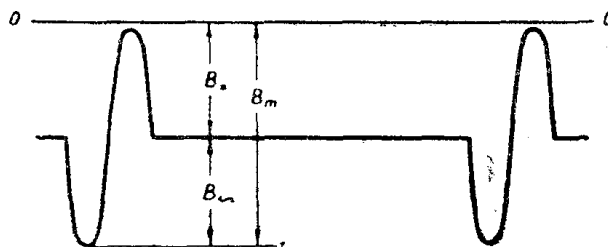


Рис. 4

Для создания постоянной составляющей потока в сердечнике компенсирующего трансформатора необходимы ампервитки

$$AW_\alpha = W_2 J \approx 0,8B_\alpha \delta, \quad (1)$$

где W_2 — число витков вторичной обмотки компенсирующего трансформатора,

J — постоянный намагничивающий ток в а,

δ — воздушный зазор в см.

Для создания переменной составляющей потока в сердечнике трансформатора необходимы ампервитки

$$AW_{\infty} = W_1 J_{1m} = 0,8 B_{\infty} \delta, \quad (2)$$

где W_1 — число витков первичной обмотки компенсирующего трансформатора,

J_{1m} — максимальное значение тока в первичной обмотке трансформатора.

Число витков вторичной обмотки трансформатора может быть определено из выражения:

$$W_2 = \frac{U_{2m} \cdot 10^8}{2\pi f B_{\infty} \cdot S}, \quad (3)$$

где U_{2m} — максимальное значение э.д.с. во вторичной обмотке в вольтах,

f — эквивалентная частота импульса тока в гц ,

S — поперечное сечение сердечника трансформатора в см^2 .

Аналогично число витков первичной обмотки определяется:

$$W_1 = \frac{U_{1m} \cdot 10^8}{2\pi f B_{\infty} \cdot S}, \quad (4)$$

где U_{1m} — максимальное значение э.д.с. в первичной обмотке. Из (1 и 3) и (2 и 4) соответственно имеем:

$$\frac{U_{2m} \cdot J_{\pm} \cdot 10^8}{2\pi f B_{\infty} S} = 0,8 B_{\infty} \delta, \quad (5)$$

$$\frac{U_{1m} \cdot J_{1m} \cdot 10^8}{2\pi f B_{\infty} S} = 0,8 B_{\infty} \delta. \quad (6)$$

Разделив (6) на (5), получим:

$$J_{1m} = J_{\pm} \frac{U_{2m}}{U_{1m}} \cdot \alpha, \quad (7)$$

где

$$\alpha = \frac{B_{\infty}}{B_{\pm}}. \quad (8)$$

Из формулы (7) видно, что при выбранных значениях J_{\pm} и $\frac{U_{2m}}{U_{1m}}$ ток

в первичной обмотке трансформатора определяется отношением амплитуды переменной составляющей к постоянной составляющей индукции в сердечнике трансформатора.

Максимальное значение индукции в сердечнике трансформатора (рис. 4)

$$B_m = B_{\infty} + B_{\pm}. \quad (9)$$

Из уравнений (5, 8 и 9) соответственно имеем:

$$S = \frac{U_{2m} \cdot J_{\pm} \cdot 10^8}{1,6\pi f B_{\infty} B_{\pm} \delta}, \quad (10)$$

$$\left. \begin{aligned} B_{\pm} &= \frac{1}{1 + \alpha} B_m \\ B_{\infty} &= \frac{\alpha}{1 + \alpha} B_m \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Сечение сердечника компенсирующего трансформатора выбирается по максимальному значению индукции B_m . Решая совместно (10) и (11), найдем сечение сердечника трансформатора:

$$S = \frac{U_{2m} \cdot J_- (1 + \alpha)^2 \cdot 10^8}{1,6\pi f B_m^2 \delta \alpha} \quad (12)$$

На рис. 5 представлена кривая зависимости сечения S сердечника трансформатора от α , при постоянных U_{2m} , J_- , f , B_m и δ .

Минимальное сечение сердечника компенсирующего трансформатора получается при $\alpha = 1$, т. е. при равенстве постоянной и переменной составляющих индукции в сердечнике трансформатора.

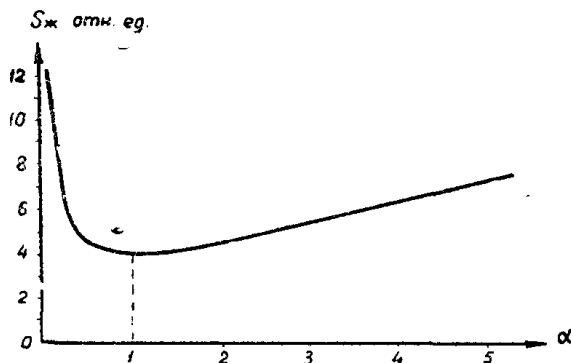


Рис. 5

Из формулы (12) следует, что с увеличением величины воздушного зазора сечение сердечника трансформатора уменьшается по гиперболе. При отсутствии воздушного зазора в сердечнике сечение его должно быть очень большим. Отсюда становится понятным, почему в трансформаторах подобного типа необходим воздушный зазор.

Пример расчета компенсирующего трансформатора

Исходные данные:

1. Напряжение на обмотках электромагнита $U_{1m} = 3000$ в.
2. Ампервитки постоянной составляющей тока, необходимые для создания расчетного потока в центральном сердечнике

$$AW_{\pm} = 2260.$$

3. Переменная составляющая потока в центральном сердечнике

$$\Phi_{\pm c} = 102 \cdot 10^6 \text{ максвелл.}$$

4. Эквивалентная частота импульсов тока $f = 50$ гц.

5. Период следования импульсов $t_c = 1$ сек.

Э.д.с., наводимая в одном витке обмотки постоянного тока, расположенной на центральном сердечнике

$$e_1 = 2\pi f \Phi_{\pm c} \cdot 10^{-8} = 2\pi \cdot 50 \cdot 102 \cdot 10^{-2} = 320 \text{ в.}$$

Выбираем число витков обмотки постоянного тока

$$W_{\pm c} = 8 \text{ витков.}$$

Ток и э.д.с. в обмотке подмагничивания соответственно будут равны:

$$J_- = \frac{AW_{\pm}}{W_{\pm c}} = \frac{2260}{8} = 283 \text{ а,}$$

$$U_{2m} = W_{\pm c} \cdot e_1 = 8 \cdot 320 = 2560 \text{ в.}$$

Задаем значение $\alpha = 1$, тогда максимальное значение тока в первичной обмотке

$$J_{1m} = J = \frac{U_{2m}}{U_{1m}} \alpha = 283 \frac{2560}{3000} = 242 \text{ а.}$$

Величина поперечного сечения сердечника трансформатора, соотношение весов меди и стали, а следовательно, и стоимость трансформатора, зависят от выбранного значения длины воздушного зазора в сердечнике.

Таблица

δ , см	S , см ²	W_0 ВИТ- КОВ на вольт	W_1 ВИТ- КОВ	W_2 ВИТ- КОВ	Q_1 см ²	Q_2 см ²	Q_3 см ²	α , см	b , см	L_c см	L_m см	G_c кг	G_m кг	C , руб.	Примечание
5	1615	0,033	99	84	8,5	119	640	40,2	25,3	262	211	3220	240	22340	
10	806	0,066	198	168	17,0	238	1275	28,4	35,6	256	185	1570	420	15600	
15	538	0,099	297	252	22,5	357	1900	23,2	43,6	267	180	1090	610	16000	К _ж = 0,2 В _м = 12000
20	403	0,132	396	336	34,0	475	2550	20,2	50,1	281	180	860	815	17900	
25	323	0,165	495	420	42,5	595	3180	18,0	56,4	298	185	700	1050	20950	
30	269	0,198	594	505	51,0	714	3830	16,4	62,0	313	190	640	1290	24250	

В таблице приведены результаты расчета вариантов компенсирующего трансформатора при различных значениях δ . По каждому варианту указана общая стоимость C активных материалов (меди и стали).

Останавливаемся на величине воздушного зазора

$$\delta = 10 \text{ см,}$$

как соответствующей наименьшей стоимости активных материалов.