

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Носов Г.В. Генерирование мощных импульсов тока электромашиными источниками с изменяющейся индуктивностью // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. – № 7. – С. 68–70.
2. Бесконтактный импульсный компрессионный генератор: пат. на ПМ 103251. Рос. Федерация. № 2010140371/07, заявл. 01.10.10; опубл. 27.03.11, Бюл. № 9. – 4 с.: ил.
3. Бесконтактный компрессионный генератор: пат. ПМ 60807. Рос. Федерация. № 2006115046/22; заявл. 02.05.06; опубл. 27.01.07, Бюл. № 3. – 3 с.: ил.
4. Асиновский Э.И., Лебедев Е.Ф., Леонтьев А.А. и др. Взрывные генераторы мощных импульсов электрического тока / под ред. В.Е. Форткова. – М.: Наука, 2002. – 398 с.
5. Глебов И.А., Кашарский Э.Г., Рутберг Ф.Г. Синхронные генераторы кратковременного и ударного действия. – Л.: Наука, 1985. – 224 с.
6. Электротехнический справочник: в 3 т. Т. 1. Общие вопросы. Электротехнические материалы / под общ. ред. проф. МЭИ В.Г. Герасимова и др. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 488 с.
7. Гольдберг О.Д., Гуринов Я.С., Свириденко И.С. Проектирование электрических машин. – М.: Высшая школа, 1984. – 431 с.
8. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. – М.: Наука, 1972. – 478 с.
9. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1972. – 544 с.
10. Татур Т.А. Основы теории электромагнитного поля. – М.: Высшая школа, 1989. – 271 с.
11. Дьяконов В.П. Mathcad 8/2000: Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2000. – 592 с.

Поступила 03.09.2012 г.

УДК 621.313.12

БЕСКОНТАКТНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ КОМПРЕССИОННЫЙ ГЕНЕРАТОР.

Ч. 2. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ХОЛОСТОГО ХОДА И КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ГЕНЕРАТОРА

Г.В. Носов

Томский политехнический университет

E-mail: nosov@elti.tpu.ru

Получены формулы для расчета параметров холостого хода и короткого замыкания, позволяющие выбрать такие бесконтактные импульсные компрессионные генераторы, которые имеют наибольшие удельные энергетические величины при допустимом нагреве и достаточной механической прочности обмотки статора и её изоляции. Разработана методика расчета импульсного возбуждения генераторов, дающая возможность определить емкость и начальное напряжение конденсаторной батареи. Толщина изоляции обмотки статора определяется предварительным значением начального напряжения конденсаторной батареи, которое зависит от числа оборотов ротора и от числа пар полюсов обмоток статора и ротора. Приведены результаты расчета параметров генераторов при изменении ширины и глубины пазов обмотки статора, оборотов ротора и числа пар полюсов. Предложенный бесконтактный импульсный компрессионный генератор мощных импульсов тока с амплитудой более 1 МА имеет достаточно высокие энергетические параметры и может использоваться для питания силовых электрофизических установок.

Ключевые слова:

Бесконтактный, импульсный, компрессионный, электромашиный генератор, импульс тока, конденсаторная батарея возбуждения, паз, ротор, статор, периодически изменяющаяся индуктивность обмотки статора, холостой ход, короткое замыкание.

Key words:

Noncontact, pulse, compression, electrical generator, pulse of current, excitation capacitor bank, slot, rotor, stator, regularly changing inductance of stator winding, idling, short-circuiting.

Считая по прежнему ширину пазов обмоток статора и ротора a переменной величиной, для бесконтактного импульсного компрессионного генератора [1] определим по закону полного тока [2] при максимуме индуктивности обмотки статора максимальный ток возбуждения

$$i_0(a) = \frac{B_0 [2\delta + l_{st}(a)/\mu_r]}{\mu_0 q}. \quad (1)$$

Далее находим магнитный поток

$$\Phi(a) = p\Phi_0(a) = plb(a)B_0 \quad (2)$$

и из расчета магнитной цепи [2] генератора находим формулы для индуктивностей обмотки статора [1]:

- минимальная индуктивность, когда пазы ротора и статора расположены напротив друг друга

$$L_{\min}(a) \approx \frac{\mu_0 q^2 pld(a)}{a + b(a) + 0,5l_{st}(a)d(a)/\mu_r b(a)}, \quad (3)$$

где расчетный размер в области пазов ротора и статора

$$d(a) = h_n(a) + 0,333[h(a) - 2h_n(a)] + \delta + 0,5\Delta_0; \quad (4)$$

- промежуточная индуктивность, когда край паза ротора по направлению вращения от положения максимальной индуктивности за время $t_n(a)$ доходит до края паза статора

$$L_n(a) \approx \frac{\mu_0 q^2 p l [d(a) - \delta - 0,5\Delta_0]}{a + \{a + 2h(a) + 3[d(a) - \delta - 0,5\Delta_0]\} / \mu_r} + \frac{\mu_0 q^2 p l \cdot h(a)}{2\delta + 0,25\pi h(a) + [2a + 5h(a)] / \mu_r} + \frac{\mu_0 q^2 p l \cdot \Delta_0}{2\delta + 0,25\pi\Delta_0 + [2a + 2h(a) + 2\Delta_0] / \mu_r}, \quad (5)$$

причем

$$t_n(a) = \frac{b(a)}{V_r} = \frac{\pi D_r / 2p - a}{V_r}; \quad (6)$$

- максимальная индуктивность, когда пазы ротора расположены посередине между пазами статора

$$L_{\max}(a) \approx \frac{\mu_0 q^2 p l [d(a) - \delta - 0,5\Delta_0]}{a + \{a + 2h(a) + 3[d(a) - \delta - 0,5\Delta_0]\} / \mu_r} + \frac{\mu_0 q^2 p l b(a)}{2\delta + l_{st}(a) / \mu_r}. \quad (7)$$

В результате по (1, 3, 7) находим кратность изменения индуктивности

$$N(a) = \frac{L_{\max}(a)}{L_{\min}(a)} \quad (8)$$

и начальную энергию магнитного поля генератора

$$W_0(a) = \frac{L_{\max}(a) i_0(a)^2}{2}. \quad (9)$$

Периодически изменяющую индуктивность обмотки статора $L(t)$ примем линеаризованной согласно рис. 1.

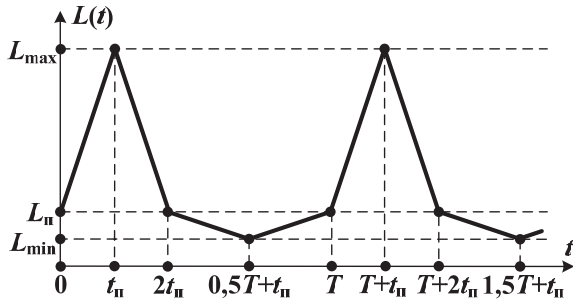


Рис. 1. Линеаризованная временная зависимость периодически изменяющейся индуктивности обмотки статора

Рассмотрим режим холостого хода, когда коммутатор K_2 разомкнут, и ток в нагрузке N равен нулю, т. е. $i_H=0$ [1]. В момент времени $t=0$, когда $L(t)=L_n$ (рис. 1), коммутатор K_1 замыкается, и предварительно заряженная до напряжения $-U_0$ конденсаторная батарея подключается к обмотке статора [1]. Если пренебречь сопротивлением обмотки статора R и полагать при разряде конденсаторной батареи индуктивность постоянной, т. е. $L(t) \approx L_p(a)$, тогда из решения уравнения

$$u_c + L_p(a) \frac{di}{dt} \approx 0$$

можно найти приближенное напряжение на зажимах конденсаторной батареи

$$u_c \approx -U_0(a) \cos \frac{t}{\sqrt{L_p(a)C_0(a)}}$$

и токи возбуждения и генератора

$$i_B = i = C_0(a) \frac{du_c}{dt} \approx U_0(a) \sqrt{\frac{C_0(a)}{L_p(a)}} \sin \frac{t}{\sqrt{L_p(a)C_0(a)}}, \quad (10)$$

где с учетом (7) расчетная индуктивность равна:

$$L_p(a) = L_{\max}(a) \approx \frac{\mu_0 q^2 p l b(a)}{2\delta + l_{st}(a) / \mu_r}. \quad (11)$$

Будем полагать, что максимум тока (10) будет в момент $t=t_n(a)$ после замыкания коммутатора K_1 , тогда из равенства

$$\frac{t_n(a)}{\sqrt{L_p(a)C_0(a)}} = \frac{\pi}{2}$$

определяем предварительное значение емкости конденсаторной батареи

$$C_0(a) = \frac{4t_n(a)^2}{\pi^2 L_p(a)}. \quad (12)$$

Из равенства максимума тока (10) и тока (1) получаем формулу для расчета предварительного значения начального напряжения конденсаторной батареи

$$U_0(a) = i_0(a) \sqrt{\frac{L_p(a)}{C_0(a)}}. \quad (13)$$

Толщина изоляции обмотки статора определится начальным напряжением батареи $U_0(a)$ при 4-х кратном запасе электрической прочности:

$$h_n(a) = \frac{U_0(a)}{E_{np}/4} \approx \frac{2U_0(a)}{0,25 \cdot 20 \cdot 10^6} = \frac{U_0(a)}{0,25 \cdot 10^7} \text{ м.} \quad (14)$$

Затем с учетом (14) рассчитываем индуктивности (3, 5, 7).

Далее на интервале времени $0 \leq t \leq t_n$, когда индуктивность обмотки статора линейно нарастает (рис. 1)

$$L(t) = L_n(a) + \frac{L_{\max}(a) - L_n(a)}{t_n(a)} \cdot t,$$

численно с учетом сопротивления обмотки статора R решаем уравнение

$$u_c + R(a)C(a) \frac{du_c}{dt} + \frac{d}{dt} \left[\left(L_n(a) + \frac{L_{\max}(a) - L_n(a)}{t_n(a)} \cdot t \right) \cdot C(a) \frac{du_c}{dt} \right] = 0$$

и подбираем такие значения $U_0(a)$ и $C(a)$, начиная от (13) и (12), которые обеспечивали бы в момент максимума индуктивности, когда $t=t_n$ (рис. 1), значения напряжения $u_c(t_n)=0$ и тока $i(t_n)=i_0$.

В результате энергия возбуждения генератора составит

$$W_B(a) \approx \frac{C(a)U_0(a)^2}{2}. \quad (15)$$

Рассмотрим режим короткого замыкания, когда напряжения на зажимах конденсаторной батареи и нагрузки N равны нулю, т. е. $u_c = u_H = 0$ [1]. В момент времени $t = t_n$, когда $L(t) = L_{\max}$ (рис. 1) и ток генератора $i(t_n) = i_0$, коммутатор K_2 замыкается, обмотка статора генератора [1] закорачивается, и на интервале времени $t_n \leq t \leq t_n + T$ при $u_c = u_H = 0$ получаем ток возбуждения $i_B = 0$ и импульсы токов генератора и нагрузки ($R=0$)

$$i = i_H = \frac{i_0(a)L_{\max}(a)}{L(t)}, \quad (16)$$

имеющие максимум

$$i_{kz}(a) = \frac{i_0(a)L_{\max}(a)}{L_{\min}(a)} = N(a) \cdot i_0(a), \quad (17)$$

действующее значение

$$I_{kz}(a) = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_n}^{t_n+T} i^2 dt} \quad (18)$$

и длительность импульсов на половине их максимума на интервале $2t_n \leq t \leq T$ (рис. 1)

$$t_{kz}(a) = \frac{L_{\min}(a)}{L_n(a) - L_{\min}(a)} \cdot [T - 2t_n(a)]. \quad (19)$$

Затем с учетом (8, 9) определяем запасаемую при коротком замыкании в магнитном поле генератора энергию, которая равна максимально возможной генерируемой энергии импульса тока i при $R=0$

$$W_{kz}(a) = N(a) \cdot W_0(a), \quad (20)$$

а также найдем усредненную мощность короткого замыкания

$$P_{kz}(a) = \frac{W_{kz}(a)}{T}. \quad (21)$$

Исходя из уравнения адиабатного процесса нагрева обмотки статора [3]

$$\frac{j(a)^2 dt}{\gamma_0 C_0 \rho_0} = \frac{d\theta(a)}{1 + \alpha_R \theta(a)},$$

находим повышение температуры обмотки статора за один импульс тока короткого замыкания (в °C):

$$\theta(a) = \frac{\exp\left[\frac{\alpha_R j(a)^2 T}{\gamma_0 C_0 \rho_0}\right] - 1}{\alpha_R}, \quad (22)$$

где с учетом (18) действующее значение плотности тока короткого замыкания составит:

$$j(a) = \frac{I_{kz}(a) \cdot q}{K_Z [a - 2h_n(a)][h(a) - 2h_n(a)]}. \quad (23)$$

В свою очередь сопротивление обмотки статора равно:

$$R(a) = \frac{q^2 [p(l+a) + \pi D][1 + \alpha_R \theta(a)]}{\gamma_0 [a - 2h_n(a)][h(a) - 2h_n(a)]K_Z}. \quad (24)$$

В момент минимума индуктивности обмотки статора будет максимум тока генератора $i_{kz}(a)$, и максимальное значение индукции на поверхности паза статора, которое на основании закона полного тока [2], получится таким

$$B_{kz}(a) = \frac{\mu_0 i_0(a)q}{a + b(a)} \times \left[N(a) - \frac{0,5l_{st}(a)}{l_{st}(a) + 2\mu_r \delta} \right] \approx \frac{\mu_0 i_{kz}(a)q}{a + b(a)}, \quad (25)$$

тогда с учетом (25) и распределения индукции (рис. 2) запишем формулу для запасенной энергии магнитного поля в пазу статора:

$$W_{\Pi}(a) = \frac{B_{kz}(a)^2 \cdot al}{2\mu_0} \times \{h_n(a) + 0,333[h(a) - 2h_n(a)]\}. \quad (26)$$

Далее, используя (26), найдем максимальное давление обмотки статора на изоляцию дна паза при коротком замыкании [2]

$$\sigma_n(a) = \frac{\int_V (\vec{j}_{kz} \times \vec{B}) dV}{[a - 2h_n(a)]l} = \frac{F_{kz}(a)}{[a - 2h_n(a)]l} = \frac{1}{[a - 2h_n(a)]l} \cdot \frac{dW_{\Pi}(a)}{d\{h_n(a) + 0,333[h(a) - 2h_n(a)]\}}$$

или

$$\sigma_n(a) = \frac{B_{kz}(a)^2 \cdot a}{2\mu_0(a - 2h_n)} \leq \sigma_{н доп}, \quad (27)$$

где $F_{kz}(a)$ — максимальная сила, действующая на обмотку статора в момент минимума индуктивности; V — объем проводников в пазу статора с максимальной плотностью тока j_{kz} и индукцией $\vec{B}$ (рис. 2).

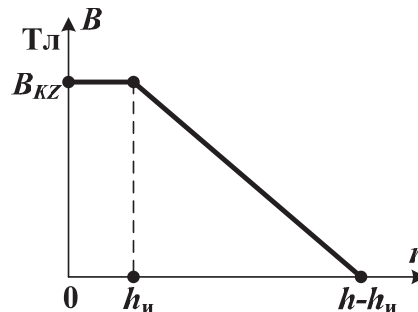


Рис. 2. Распределение индукции по высоте паза статора

С учетом (25), подобно (27), получим максимальное давление магнитного поля на поверхности обмоток ротора и статора

$$\sigma_o(a) = \frac{1}{[a - 2h_n(a)]l} \times d \left\{ \frac{B_{KZ}(a)^2}{2\mu_0} [h_n(a) + \delta + 0,5\Delta_0][a - 2h_n(a)]l \right\} \times \frac{1}{d[h_n(a) + \delta + 0,5\Delta_0]}$$

или

$$\sigma_o(a) = \frac{B_{KZ}(a)^2}{2\mu_0} \leq \sigma_{o, \text{доп}}. \quad (28)$$

Используя данные расчета из [1], определим по формулам (1–28) параметры холостого хода

и короткого замыкания генератора и результаты внесем в табл. 1 и 2.

Увеличение ширины пазов обмоток ротора и статора a и глубины h паза обмотки статора приводит к уменьшению кратности изменения индуктивности N , энергии короткого замыкания W_{KZ} , амплитуды тока короткого замыкания i_{KZ} , к уменьшению механических давлений на изоляцию σ_n и обмотки σ_o , а также к снижению удельных энергетических параметров W_{KZ}/M_g и P_{KZ}/M_g . Предварительное значение начального напряжения конденсаторной батареи U_{00} и толщина изоляции h_n не зависят от ширины a и глубины h пазов статора, а опре-

Таблица 1. Параметры бесконтактного импульсного компрессионного генератора в зависимости от ширины пазов статора и ротора a при $q=1$ и $T=5$ (мс)

Величины	Размерность	$n=3000$ (об/мин); $p=4$; $D_r=637$ (мм); $\delta=1,2$ (мм)				
		$a=50$ мм	$a=100$ мм	$a=125$ мм	$a=150$ мм	$a=200$ мм
$h(a)=0,1a$	мм	5	10	13	15	20
$h_n(a)$	мм	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
$L_{\max}(a)$	мкГн	35,68	29,51	25,93	21,95	12,47
$L_n(a)$	мкГн	6,13	5,66	5,48	5,33	5,1
$L_{\min}(a)$	мкГн	0,14	0,185	0,206	0,227	0,268
$t_n(a)$	мс	2	1,5	1,25	1	0,5
$N(a)$	–	249,6	159,25	125,6	96,5	46,45
$i_0(a)$	кА	57,46	52,2	49,5	46,85	41,55
$U_0(a)$	В	2075	1936	1900	1885	1784
$W_0(a)$	кДж	58,91	40,14	31,8	24,1	10,76
$W_g(a)$	кДж	134	81	61,38	44,34	16,13
$\Phi(a)$	Вб	2,037	1,528	1,273	1,019	0,509
$C(a)$	мФ	62	43	34	25	10
$i_{KZ}(a)$	кА	14340	8306	6220	4523	1930
$I_{KZ}(a)$	кА	987,1	954,8	856,9	726	397
$t_{KZ}(a)$	мс	0,02	0,07	0,1	0,13	0,22
$W_{KZ}(a)$	кДж	14700	6392	3993	2326	500
$j(a)$	А/мм ²	7781	1585	882	508	152,4
$\theta(a)$	°С	∞	86	23,8	7,7	0,7
$B_{KZ}(a)$	Тл	71,95	41,63	31,15	22,6	9,6
$\sigma_n(a)$	МПа	2114	698	390	205,5	36,95
$\sigma_o(a)$	МПа	2060	689,5	386	203,7	36,71
$W_{KZ}(a)/M_g(a)$	Дж/кг	1522	783,5	535,5	342,8	90,2
$P_{KZ}(a)/M_g(a)$	кВт/кг	304,5	156,7	107,1	68,6	18
$R(a)$	МОм	∞	0,34	0,172	0,111	0,061
$h(a)=0,2a$	мм	10	20	25	30	40
$h_n(a)$	мм	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
$L_{\max}(a)$	мкГн	35,52	29,06	25,39	21,36	12,01
$L_n(a)$	мкГн	7,36	6,86	6,672	6,521	6,292
$L_{\min}(a)$	мкГн	0,185	0,27	0,312	0,354	0,434
$t_n(a)$	мс	2	1,5	1,25	1	0,5
$N(a)$	–	191,6	107,67	81,4	60,4	27,7
$i_0(a)$	кА	58,05	53,33	50,98	48,62	43,9
$U_0(a)$	В	1957	1888	1871	1842	1766
$W_0(a)$	кДж	59,85	41,34	33	25,25	11,57
$W_g(a)$	кДж	120,3	76,68	58,77	42,46	15,61
$\Phi(a)$	Вб	2,037	1,528	1,273	1,019	0,509
$C(a)$	мФ	63	43	34	25	10
$i_{KZ}(a)$	кА	11120	5742	4149	2937	1215
$I_{KZ}(a)$	кА	797,6	725,5	638,3	533	286,6
$t_{KZ}(a)$	мс	0,03	0,08	0,12	0,17	0,3
$W_{KZ}(a)$	кДж	11470	4451	2685	1525	320,2
$j(a)$	А/мм ²	2682	561	311	178	53,2
$\theta(a)$	°С	340	9,3	2,8	0,9	0,1
$B_{KZ}(a)$	Тл	55,8	28,74	20,7	14,7	6
$\sigma_n(a)$	МПа	1270	333	172,9	86,15	14,4
$\sigma_o(a)$	МПа	1237	329	171,1	85,41	14,3
$W_{KZ}(a)/M_g(a)$	Дж/кг	1166	524,8	342,4	211	52,7
$P_{KZ}(a)/M_g(a)$	кВт/кг	233,3	105	68,5	42,2	10,5
$R(a)$	МОм	1,21	0,12	0,075	0,052	0,029
$h(a)=0,3a$	мм	15	30	38	45	60
$h_n(a)$	мм	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
$L_{\max}(a)$	мкГн	35,36	28,64	24,88	20,82	11,61
$L_n(a)$	мкГн	8,06	7,512	7,318	7,163	6,933
$L_{\min}(a)$	мкГн	0,228	0,354	0,417	0,479	0,597
$t_n(a)$	мс	2	1,5	1,25	1	0,5
$N(a)$	–	155,25	80,8	59,7	43,5	19,5
$i_0(a)$	кА	58,64	54,51	52,45	50,39	46,26
$U_0(a)$	В	1929	1879	1859	1837	1780
$W_0(a)$	кДж	60,8	42,55	34,23	26,43	12,43
$W_g(a)$	кДж	116,4	75,8	58,34	42,39	15,85
$\Phi(a)$	Вб	2,037	1,528	1,273	1,019	0,509
$C(a)$	мФ	63	43	34	25	10
$i_{KZ}(a)$	кА	9104	4407	3130	2191	900,1
$I_{KZ}(a)$	кА	693,2	611	532,7	442	237,7
$t_{KZ}(a)$	мс	0,03	0,1	0,15	0,21	0,38
$W_{KZ}(a)$	кДж	9439	3440	2043	1149	241,8
$j(a)$	А/мм ²	1481	308	170	97	29,1
$\theta(a)$	°С	74	8,8	0,8	0,3	0,025
$B_{KZ}(a)$	Тл	45,6	22	15,6	10,9	4,4
$\sigma_n(a)$	МПа	850	195,5	97,98	47,6	7,81
$\sigma_o(a)$	МПа	828	193	96,97	47,2	7,76
$W_{KZ}(a)/M_g(a)$	Дж/кг	943	390,5	248	149,5	36,4
$P_{KZ}(a)/M_g(a)$	кВт/кг	188,7	78,1	49,6	29,9	7,3
$R(a)$	МОм	0,41	0,076	0,049	0,034	0,019

Таблица 2. Параметры бесконтактного импульсного компрессионного генератора в зависимости от оборотов ротора f и числа пар полюсов p при $a=\pi D_r/4p$; $h(a)=0,2a$; $q=1$

n	об/мин	12000			6000			3000			1500		
δ	мм	0,35			0,7			1,2			3		
p	—	2	4	6	2	4	6	2	4	6	2	4	6
U_{00}	кВ	0,2	0,4	0,6	0,4	0,8	1,2	0,8	1,6	2,4	1,6	3,2	4,8
σ_0	МПа	161	115	88	191	141	111	222	171	137	238	184	147
i_{kz}	МА	2	0,85	0,49	4,39	1,88	1,1	9,4	4,1	2,48	19,6	8,6	5,1
t_{kz}	мс	0,06	0,03	0,02	0,11	0,06	0,05	0,22	0,12	0,09	0,46	0,26	0,2
W_{kz}	МДж	0,08	0,03	0,02	0,71	0,3	0,18	6,1	2,7	1,6	50,6	22,3	13,3
W_{kz}/M_g	Дж/кг	393	280	200	429	311	224	461	342	253	477	355	261
P_{kz}/M_g	кВт/кг	157	224	240	86	124	134	46,1	68,5	76	24	35,5	39,2

деляются числом оборотов ротора n и числом пар полюсов p обмоток статора и ротора. Уменьшение числа оборотов ротора n и числа пар полюсов p приводит к возрастанию амплитуды тока i_{kz} , длительности импульса t_{kz} , энергии W_{kz} и удельной энергии W_{kz}/M_g , а также к увеличению максимального давления магнитного поля на обмотки σ_0 , причем удельная мощность P_{kz}/M_g снижается.

Исходя из приемлемого нагрева обмотки статора за один импульс тока короткого замыкания $\theta=2,8$ (°С), а также достаточной механической прочности изоляции обмотки статора и её проводников, из табл. 1 выбираем вариант с $a=0,125$ (м) и $h(a)=0,2a=0,025$ (м) с наибольшими допустимыми значениями давлений $\sigma_0=172,9<294$ (МПа) и $\sigma_0=171,1<191,5$ (МПа) при $N=81,4$; $W_{kz}=2,7$ (МДж), $i_{kz}=4,1$ (МА).

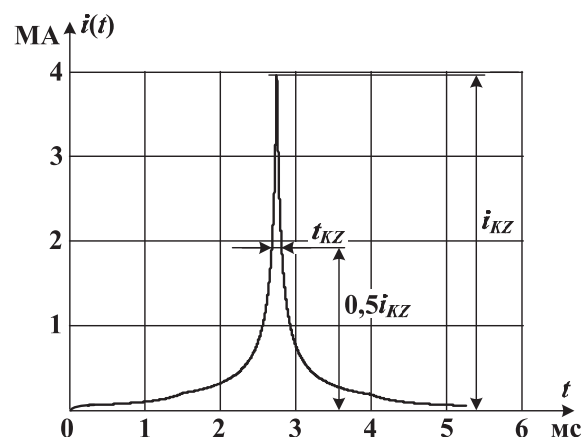


Рис. 3. Временная зависимость тока короткого замыкания для выбранного варианта генератора с учетом сопротивления обмотки статора $R=0,075$ (мОм)

Если учесть сопротивление R обмотки статора, то тогда из решения уравнения

$$Ri + \frac{d[L(t)i]}{dt} = 0$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Носов Г.В. Бесконтактный импульсный компрессионный генератор. Ч. 1. Конструкция и принцип действия. Расчет размеров и механических параметров генератора // Известия Томского политехнического университета. — 2012. — Т. 321. — № 4. — С. 68–70.

можно получить формулу для расчета тока короткого замыкания генератора с учетом сопротивления R :

$$i = \frac{i_0 L_{\max}}{L(t)} \cdot \exp \left[- \int_{t_n}^t \frac{R}{L(t)} dt \right]. \quad (29)$$

На рис. 3 на интервале времени $0 \leq t \leq t_n + T$ приведена зависимость тока короткого замыкания генератора, полученная по формулам (10, 29) для выбранного варианта генератора, причем учет сопротивления обмотки статора R приводит к уменьшению амплитуды тока короткого замыкания генератора примерно на 5 %.

Таким образом, по полученным формулам (1–29) можно рассчитывать параметры холостого хода и короткого замыкания бесконтактных импульсных компрессионных генераторов [1], которые могут использоваться при анализе и проектировании этих генераторов.

Выводы

- Предложенный бесконтактный импульсный компрессионный генератор мощных импульсов тока с амплитудой более 1 МА имеет достаточно высокие энергетические параметры и может использоваться для питания силовых установок.
- Полученные формулы позволяют выбрать такие параметры и размеры генератора, которые обеспечивали бы максимальные удельные энергетические параметры при допустимом нагреве обмотки статора и достаточной механической прочности обмоток, изоляции и ротора.
- Толщина изоляции обмотки статора определяется предварительным значением начального напряжения конденсаторной батареи, которое не зависит от ширины и глубины пазов статора, а определяется числом оборотов ротора и числом пар полюсов обмоток статора и ротора.

- Татур Т.А. Основы теории электромагнитного поля. Справочное пособие. — М.: Высшая школа, 1989. — 271 с.
- Теория электрических аппаратов / под ред. проф. Г.Н. Александрова. — М.: Высшая школа, 1985. — 312 с.

Поступила 3.9.2012 г.