

**НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ
АВТОНОМНОГО ИСТОЧНИКА ИМПУЛЬСНОЙ МОЩНОСТИ С
ИНДУКТИВНО-ЕМКОСТНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ**

Ф. П. Зверев, Г. А. Сипайлов, А. Б. Цукублин

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

Импульсное использование электрической энергии в современной технике имеет достаточно большое применение. Основной отличительной особенностью импульсных систем является накапливание электрической или электромагнитной энергии в накопителе в течение сравнительно длительного времени и быстрая отдача ее в нагрузку.

Импульсные системы небольшой мощности ($W_{\text{зап}} = 10^2 \div 10^3$ дж), как правило, выполняются автономными, в которых первичным источником энергии являются низковольтная химическая батарея ограниченной мощности или вал отбора механической мощности, что обуславливает необходимость создания промежуточных преобразующих устройств для заряда накопителя. При этом в автономных системах весьма важным является обеспечение наивысшего к. п. д. процесса заряда накопителя и минимального веса и габаритов всей системы в целом.

К числу таких импульсных систем относится автономный источник импульсной мощности, выполненный по схеме синхронный генератор — выпрямитель — накопительный конденсатор (СГ—В—Сн) [1].

Известно [2], что минимальным затратам энергии и наивысшему к.п.д. заряда соответствует линейное возрастание напряжения на конденсаторе в процессе заряда, т. е. заряд неизменным током.

Одним из способов реализации такого режима заряда накопительного конденсатора является применение индуктивно-емкостного преобразователя (ИЕП) в качестве промежуточного звена между генератором переменного тока и выпрямителем, выполняющего роль преобразователя источника неизменного напряжения в источник неизменного тока [3].

В настоящей статье приводятся некоторые результаты экспериментального исследования автономного источника импульсной мощности (АИИМ) с индуктивно-емкостным преобразователем, схема которого приведена на рис. 1.

В качестве источника переменного тока был использован маломощный синхронный генератор с электромагнитным возбуждением и регулятором напряжения.

ИЕП выполнен по трехфазной Т-образной схеме с взаимоиндуктивной связью катушек в плечах и настроен в резонанс на частоту синхронного генератора.

Ниже приведены основные данные экспериментальной установки АИИМ:

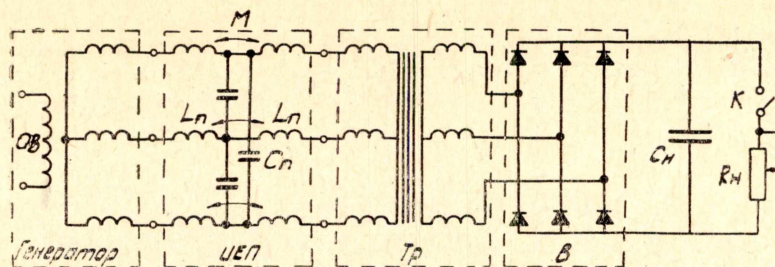


Рис. 1. Принципиальная схема автономного источника импульсной мощности с индуктивно-емкостным преобразователем

Генератор

Мощность	$P = 500$ в
Напряжение	$N_{\Gamma} = 40$ в
Частота	$t_{\Gamma} = 500$ гц
Скорость вращения	$\Pi = 15\,000$ об/мин

Индуктивно-емкостной преобразователь

Индуктивность дросселей	$L_{\Gamma} = 0,9$ мГн
Емкость	$C_{\Pi} = 70$ мкф
Коэффициент связи катушек	$K_{\text{с}} = 1,0$
Добротность катушек	$Q = 15$

Согласующий трансформатор

Тип трансформатора	— трехфазный стержневой
Коэффициент трансформации	$K_{\Gamma} = 25$
Соединение обмоток	Δ/Δ

Накопительный конденсатор

Емкость	$C_{\text{н}} = 240$ мкф
Нормальное напряжение	$U_{\text{сн}} = 3000$ в
Время заряда	$t_{\text{з}} = 0,2 \div 3,0$ сек
Время разряда	$t_{\text{р}} = 0,01$ сек

Режим работы АИИМ — циклический — «Заряд-разряд».

Циклический режим работы АИИМ и изменение напряжений и токов в течение цикла в широких пределах не позволили использовать в данной схеме стрелочные приборы ввиду большой их инерционности. Невозможной оказалась и регистрация указанных величин путем непосредственной записи осциллограмм и последующей их расшифровки, из-за сравнительно высокой частоты синхронного генератора и низкой частоты следования разрядных импульсов ($f'_{\text{имп}} = 0,3$ гц). Поэтому была принята следующая методика исследования энергетических показателей АИИМ:

1. Проводился гармонический анализ токов и напряжений с записью осциллограмм изменения в процессе заряда всех наиболее существенных гармонических составляющих. Калибровка осциллограмм эталонными напряжением и током позволила определить значения основной гармонической, относительно которой определялись амплитуды высших гармонических составляющих.

2. По известной амплитуде первой гармонической и относительным значениям составляющих спектра определялись эффективные значения измеряемых величин тока и напряжения в соответствии с выражениями (1) и (2)

$$I_{\text{эф}} = \frac{I_{1m}}{\sqrt{2}} \sqrt{1 + \sum_{k=3}^n \left(\frac{I_{km}}{I_{1m}}\right)^2} \quad (1)$$

$$U_{\text{эф}} = \frac{U_{1m}}{\sqrt{2}} \sqrt{1 + \sum_{k=3}^n \left(\frac{U_{km}}{U_{1m}}\right)^2} \quad (2)$$

3. Мгновенное значение активной мощности определялось путем записи осциллограмм с помощью измерительных шлейфов мощности по методу двух ваттметров.

Пользуясь описанным методом, были экспериментально исследованы соотношения между токами, напряжениями и мощностями во всех элементах системы и построены рабочие характеристики АИИМ (рис. 2÷5).

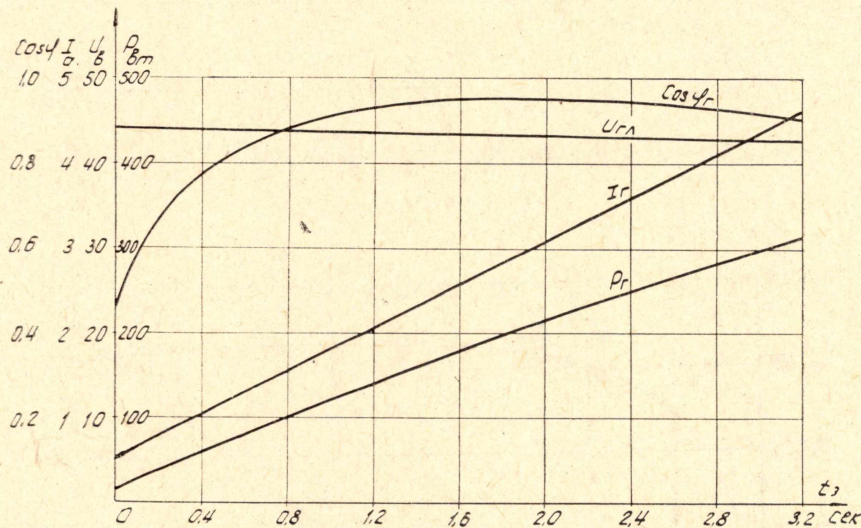


Рис. 2. Рабочие характеристики генератора АИИМ при работе на емкость

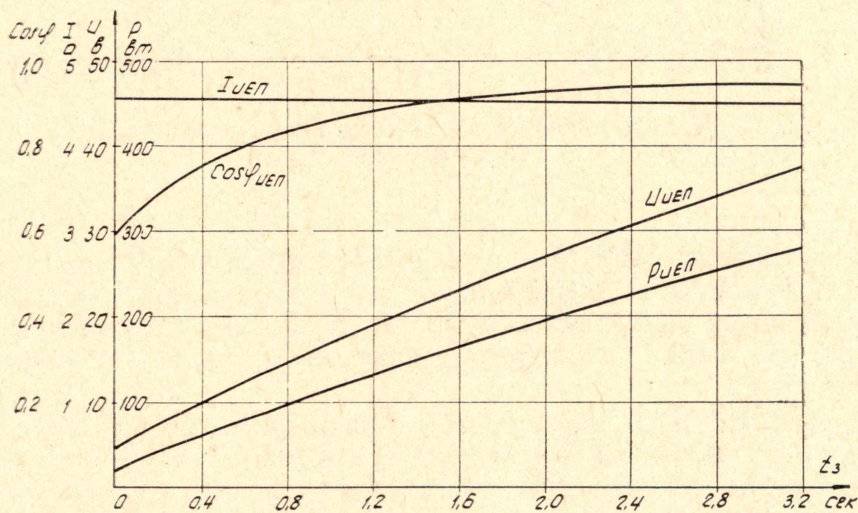


Рис. 3. Рабочие характеристики индуктивно-емкостного преобразователя АИИМ при работе на емкость

Анализ осциллограмм и рабочих характеристик АИИМ показывает, что

1) применение ИЕП в качестве промежуточного звена существенно повышает к.п.д. процесса заряда; среднее значение к.п.д. эксперимен-

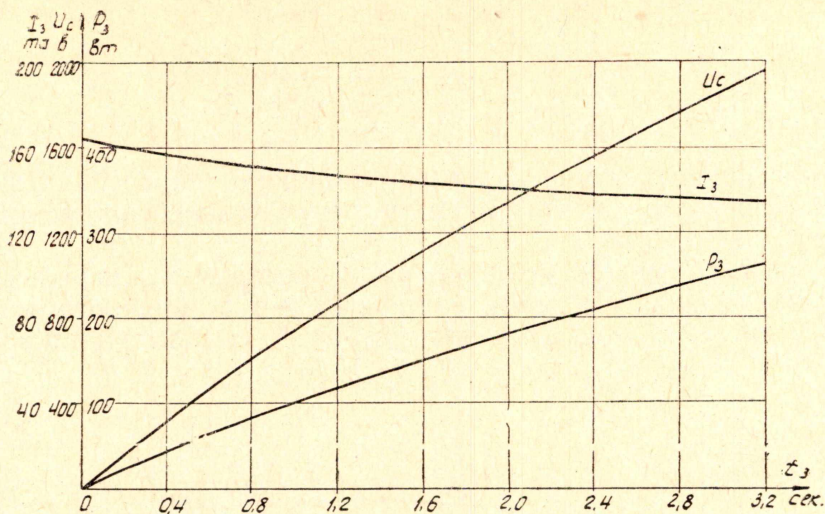


Рис. 4. Параметры нагрузки при работе АИИМ на емкость

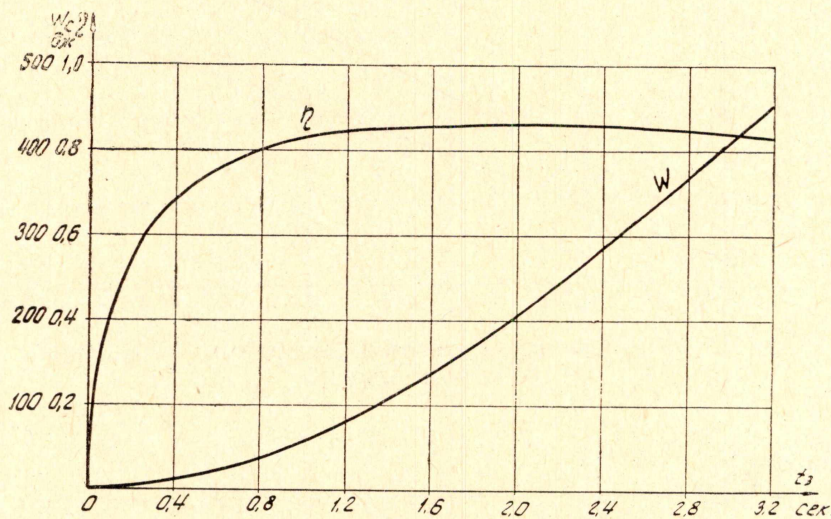


Рис. 5. К. п. д. системы и количества запасаемой накопителем энергии

тальной установки АИИМ при времени заряда $t_3 = 3$ сек составило $\eta_{\text{ср}} = 0,74$, что значительно превышает к.п.д. зарядного устройства с ограничивающими индуктивностями ($\eta_{\text{ср}} \cong 0,6$) или активным сопротивлением в цепи зарядного контура (после выпрямителя) ($\eta_{\text{ср}} \leq 0,5$) [1, 2];

2) настройка ИЕП в резонанс на частоту питающего напряжения обеспечивает практически неизменное значение тока на выходе ИЕП (рис. 3), относительную стабильность тока заряда и, соответственно, практически линейное возрастание напряжения на накопительной емкости в процессе заряда (рис. 4);

3) высокие значения коэффициента мощности генератора (рис. 2) в процессе заряда ($\cos \varphi_{\text{ген}} = 0,86$) показывают, что при правильной настройке ИЕП практически не потребляет реактивной мощности;

4) применение ИЕП обуславливает отсутствие провалов выходного напряжения генератора, неизбежных при включении синхронного генератора на разряженную емкость, как непосредственно через выпрями-

тель [1], так и через ограничивающие индуктивности или сопротивления; это обстоятельство является весьма существенным для автономных импульсных систем, в которых генератор, наряду с работой на емкостной накопитель, может также быть использован для питания других потребителей, требующих стабильности напряжения.

Результаты гармонического анализа приведены в таблице.

Т а б л и ц а

Содержание высших гармонических в кривых напряжений и токов в процессе заряда накопителя

	№ гармоник	Время заряда t_3 сек								
		0,2	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2
		Содержание высших гармонических в %								
Линейное напряжение генератора	5	3,0	4,8	7,1	8,4	9,0	9,2	9,2	9,2	9,2
	7	1,6	2,4	3,2	3,2	3,1	3,1	3,0	2,9	2,8
Фазный ток генератора	5	30,0	32,0	33,0	29,5	25,8	22,5	19,0	17,0	15,5
	7	12,0	9,0	6,0	5,0	4,7	4,5	4,3	4,0	4,0
Фазное напряжение ИЕП	5	18,0	23,5	24,0	19,5	16,5	14,7	13,5	12,5	12,1
	7	4,0	3,5	2,5	2,5	3,1	3,6	3,8	4,0	4,0
Фазный ток ИЕП	5	4,5	6,5	10,5	13,5	15,6	17,0	17,6	17,6	17,5
	7	1,6	2,0	2,7	3,2	3,7	4,0	4,5	5,1	5,3
Фазное напряжение трансформатора	5	9,0	14,0	20,0	18,0	14,0	12,0	11,0	10,0	9,5
	7	5,5	9,5	12,5	8,0	5,7	4,0	3,2	2,5	2,4
Фазный ток трансформатора	5	4,5	6,8	10,4	13,5	15,6	16,7	17,5	18,0	18,2
	7	—	0,5	2,0	3,5	4,5	5,2	6,0	6,6	7,0

Гармонический анализ токов и напряжений на выходе генератора, ИЕП и согласующего трансформатора показывает, что

1) формы кривых токов и напряжений деформируются в процессе заряда, причем в кривых отсутствуют гармонические, кратные числу фаз системы, а также четные гармонические;

2) наиболее существенными из высших гармонических во всех случаях являются 5-я и 7-я, изменение которых за время заряда показано в таблице;

3) содержание высших гармонических в кривой выходного напряжения генератора в течение всего времени заряда не превышает 10%, что еще раз свидетельствует о возможности использования генератора АИИМ для питания других потребителей;

4) формы кривых фазных токов всех элементов АИИМ, а также фазных напряжений ИЕП и согласующего трансформатора значительно искажены (до 20÷30%), что должно быть учтено при проектировании элементов автономного источника импульсной мощности с индуктивно-емкостным преобразователем.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Бертинов и др. Энергетика процесса заряда конденсатора от генератора переменного тока через выпрямитель. «Электричество», № 8, 1967.
2. P. M. Mostov, I. L. Neuringer, and D. S. Riqney. „Optimum Capacitor charging efficiency for space systems“. Proceedings et the 9, R. E. Mau, 1961.
3. Д. И. Милых и др. Индуктивно-емкостные преобразователи источников напряжения в источники тока. Изд-во «Наукова думка», Киев, 1964.