

**ВОЗБУЖДЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТА  
МАЛОГАБАРИТНОГО БЕТАТРОНА  
ОТ АВТОНОМНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ  
ОГРАНИЧЕННОЙ МОЩНОСТИ**

П. Г. ГОРДЕЕВ, П. П. РУМЯНЦЕВ, Ю. П. ЯРУШКИН

(Представлена научно-исследовательским институтом  
ядерной физики, электроники и автоматики)

Для целого ряда практического применения малогабаритного бетатрона возникает необходимость его питания в местах, где отсутствует централизованное электроснабжение. При этом обеспечение нормальной работы бетатрона осуществляется от автономных агрегатов с генераторами переменного однофазного и трехфазного переменного тока промышленной (50 *гц*) и повышенной (400 *гц*) частоты.

В автономных агрегатах используются синхронные и индукторные генераторы переменного тока на напряжение 115, 230 или 380 *в*. Мощности генераторов автономных агрегатов относительно невелики (от единиц киловатт до нескольких десятков киловатт).

Автономные агрегаты питания снабжаются специальными устройствами, позволяющими автоматически поддерживать частоту и напряжение на выходе генератора с точностью порядка  $\pm 2 \div 3\%$ .

Наиболее подходящими автономными агрегатами для питания переносных малогабаритных бетатронов типа ПМБ-6, с точки зрения минимального веса, являются бензоэлектрические агрегаты типа АБ-4. Эти агрегаты состоят из двигателя внутреннего сгорания мощностью 7 л. с. и генератора переменного тока индукторного типа мощностью 4 *квт* с трехфазным выходом 127/220 *вольт* частотой 50 *гц* или с однофазным выходом 230 или 115 *вольт* и частотой 425 *гц*. В первом типе генератора отсутствует специальное устройство стабилизации напряжения, которое имеется у генератора с частотой 425 *гц*. Для стабилизации частоты в агрегатах типа АБ-4 используется центробежный регулятор, поддерживающий постоянство оборотов двигателя внутреннего сгорания.

Для выяснения возможности питания бетатрона ПМБ-6 от бензоэлектрических агрегатов типа АБ-4 были проведены исследования по питанию серийного образца бетатрона ПМБ-6 непосредственно от агрегата АБ-4-Т/230-М с трехфазным выходом 127/230 *вольт* частотой 50 *гц* и по питанию модернизированного бетатрона ПМБ-6 через преобразователь частоты от агрегата АБ-4-0/230/ч-425 с однофазным выходом 230 *вольт* частотой 425 *гц*.

1. Экспериментальные исследования установившихся и переходных режимов при непосредственном питании от бензоэлектрического агрегата.

Выходная характеристика агрегата АБ-4-Т/230-М (зависимость напряжения на зажимах генератора от частоты), снятая в режиме холостого хода, приведена на рис. 1. Большое изменение напряжения на зажи-

мах генератора в пределах  $48 \div 52$  гц настораживало при запуске электромагнита бетатрона. Однако под нагрузкой выходная характеристика становится значительно равномернее, а резонансная характеристика электромагнита (зависимость первичного тока от частоты) обеспечивает устойчивую работу бетатрона и бензоэлектрического генератора в правой ветви, т. е. при установке частоты генератора до включения нагрузки больше 49 гц. В этом случае двигатель внутреннего сгорания стремится развить обороты и должно возрасти напряжение на выходе генератора, однако увеличивающаяся нагрузка контура снижает это напряжение, а следовательно, и число оборотов двигателя. Понижение частоты уменьшает и ток нагрузки, вызывающий повышение напряжения и частоты генератора.

Установка резонансной частоты (49 гц) и ниже (левая ветвь) в режиме холостого хода при включении нагрузки приводит к срыву генератора, так как с понижением частоты растет ток нагрузки, приводящий к еще большему понижению частоты и росту тока нагрузки.

Так как в схеме питания электромагнита бетатрона применена параметрическая (феррорезонансная) система стабилизации напряжения, чувствительная к изменению частоты, то следовало ожидать понижение средней дозы тормозного излучения. Количественная оценка средней дозы излучения за равные интервалы времени, проведенная при питании бетатрона от промышленной сети и от бензоэлектрического агрегата, показала, что в последнем случае средняя доза понижается на  $10 \div 15\%$ .

Проведенные эксперименты показывают, что принципиально возможно применение автономных источников питания ограниченной мощности для питания серийного малогабаритного бетатрона ПМБ-6.

К недостаткам непосредственного питания бетатрона от автономных агрегатов питания следует отнести, во-первых, снижение средней дозы излучения из-за нестабильности частоты на выходе генератора и, во-вторых, необходимость первоначальной настройки автономного агрегата на устойчивую работу с бетатронной установкой.

Для устранения этих недостатков необходимо питать бетатрон от автономного агрегата через дополнительное устройство, стабилизирующее напряжение и частоту.

2. Экспериментальные исследования установившихся и переходных режимов при питании бетатрона от бензоэлектрического агрегата через промежуточное стабилизирующее устройство.

Устройство, стабилизирующее частоту и напряжение, должно содержать звено постоянного тока (для устранения влияния нестабильности частоты агрегата питания), стабилизатор напряжения и инвертор. Экспериментальные исследования электромагнита бетатрона ПМБ-6 показали, что без существенной перегрузки по тепловому режиму возможно его возбуждение на частоте порядка 100 гц, а это, как известно, даст увеличение интенсивности излучения в два раза [1]. Таким образом, оказалось целесообразным инвертор выполнить на частоту 100 гц. Дополни-

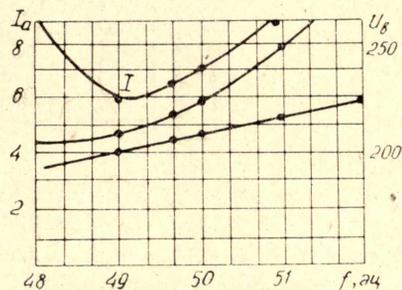


Рис. 1.  $U_{xx}=f(f)$  и  $U_n=f(f)$  — выходные характеристики агрегата АБ-4-Т/230-М (зависимость напряжения на зажимах генератора от частоты) при холостом ходе и под нагрузкой.  $I=f(f)$  — резонансная характеристика электромагнита (зависимость первичного тока от частоты)

тельный преобразователь частоты для бетатрона не снижает заметно весовые и габаритные характеристики, поскольку обязательно присутствует автономный источник питания и преобразователь конструктивно может быть внесен непосредственно в последний.

Для питания бетатрона через преобразователь частоты наиболее целесообразно использовать бензоэлектрические агрегаты с генераторами повышенной (400 гц) частоты. Применение повышенной частоты позволяет значительно снизить вес и габаритные размеры трансформаторов и сглаживающих фильтров выпрямительных устройств.

Разработанная схема возбуждения электромагнита бетатрона на повышенной частоте приведена на рис. 2. Схема возбуждения включает в себя бензоэлектрический агрегат АБ-4-0/230/г-425, выпрямитель (АТ; Д<sub>1</sub>—Д<sub>4</sub>; L<sub>1</sub>; С<sub>1</sub>), однотактный инвертор с искусственной коммутацией (Т<sub>1</sub>; Т<sub>2</sub>; Д<sub>5</sub>; Д<sub>6</sub>; L<sub>2</sub>; L<sub>3</sub>; С<sub>2</sub>) и колебательный контур, образованный компенсационными конденсаторами и обмотками электромагнита.

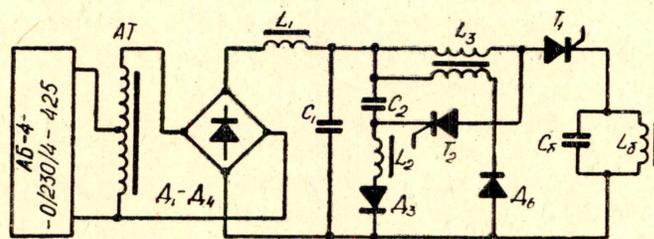


Рис. 2. Схема возбуждения электромагнита бетатрона на повышенной частоте

Введение выпрямителя и инвертора исключает влияние изменения частоты генератора на работу бетатрона, так как стабильность частоты определяется стабильностью автогенератора системы управления инвертором, стабильность которого составляет  $\pm 0,5\%$ . Параметрическая стабилизация напряжения на электромагните обеспечивается ограничивающим дросселем  $L_3$  и контуром  $C_6 L_6$  с коэффициентом стабилизации порядка 7.

Экспериментальное исследование переходного режима при возбуждении электромагнита от автономного агрегата питания показало, что в момент включения электромагнита бетатрона происходил срыв генератора переменного тока, вызванный тем, что источник питания во время переходного процесса должен развивать большую мощность, обусловленную процессом накопления реактивной энергии в резонансном контуре бетатрона. Получению большой мгновенной мощности от агрегата АБ-4-0/230/г-425 затруднено ввиду того, что система стабилизации напряжения генератора построена на основе магнитного усилителя, который, как известно, обладает инерционностью. Так как магнитный усилитель не успевает обработать подключение большой нагрузки, то напряжение на выходе генератора снижается, а вместе с ним снижается и ток обмотки возбуждения, что вызывает срыв генератора переменного тока.

Для обеспечения устойчивого запуска электромагнита бетатрона необходимо увеличить длительность переходного процесса, т. е. во время переходного процесса уменьшить количество энергии, вводимой за период колебаний в резонансный контур бетатрона. Это дает возможность системе стабилизации успевать за изменениями тока нагрузки. В экспериментальной установке более мягкий переходный процесс обеспечивается за счет уменьшения частоты инвертора во время переходного процесса, продолжающегося  $1 \div 2$  сек.

Экспериментальные испытания системы питания бетатрона от бензоэлектрического агрегата через преобразователь частоты с мягким пуском показали ее устойчивую работоспособность в переходных режимах и в установившихся при изменении напряжения и частоты генератора в довольно широком диапазоне  $\pm 10\%$  по напряжению и  $2 \div 3\%$  по частоте. При этом мощность дозы тормозного излучения увеличилась в два раза по сравнению с серийным образцом ПМБ-6, питаемым напряжением промышленной частоты (50 гц).

Проведенные эксперименты показывают, что возбуждение электромагнита бетатрона ПМБ-6 от автономного агрегата ограниченной мощности принципиально возможно, причем введение дополнительного преобразователя частоты не только стабилизирует частоту и напряжение, но и позволяет конструировать наиболее рациональные схемы питания бетатрона.

С этой точки зрения было бы весьма выгодным использовать смешанное питание электромагнита бетатрона, позволяющее существенно уменьшить реактивную мощность, а следовательно, и потребляемую мощность, что особенно важно при работе от автономного источника. Причем при смешанном возбуждении электромагнита бетатрона возможно построить схему питания таким образом, что функция защитного элемента и преобразователя частоты выполняет один элемент. При этом уменьшается вес и размеры всей системы питания.

Один из вариантов такой совмещенной системы питания с параллельным инвертором тока представлен на рис. 3. Роль большой индуктивности на входе инвертора тока выполняет электромагнит бетатрона, который одновременно подключен к выходной цепи инвертора.

Подмагничивание осуществляется за счет постоянной составляющей тока инвертора. Причем степень подмагничивания и добротность определяют коэффициент трансформации выходного трансформатора инвертора. Приближенное значение коэффициента трансформации, если пренебречь активным падением напряжения в цепи постоянного тока, определяется по формуле

$$k_T = \sqrt{2} C_{\text{п}} Q,$$

здесь:

$$k_T = \frac{U_2}{U_1},$$

$C_{\text{п}}$  — степень подмагничивания,  $C_{\text{п}} = \frac{I_0}{I_{\sim m}}$ ,

$Q$  — добротность параллельного колебательного контура, образованного электромагнитом бетатрона, защитным элементом и компенсационными конденсаторами;

$U_2$  — действующее значение напряжения на электромагните бетатрона;

$U_1$  — напряжение источника постоянного тока.

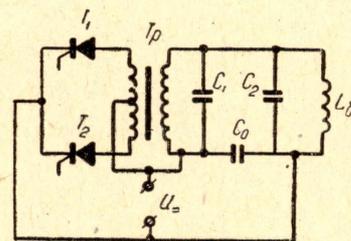


Рис. 3. Схема смешанного питания бетатрона на повышенной частоте с использованием инвертора тока

Проведенные экспериментальные исследования подобной схемы питания показывают реальность использования ее не только для питания от автономных агрегатов ограниченной мощности, но и для питания на повышенных частотах электромагнита бетатрона от промышленной сети.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. П. Ярушкин. Некоторые вопросы исследования смешанного возбуждения электромагнита малогабаритного бетатрона. Кандидатская диссертация. Томск, 1965.
-