

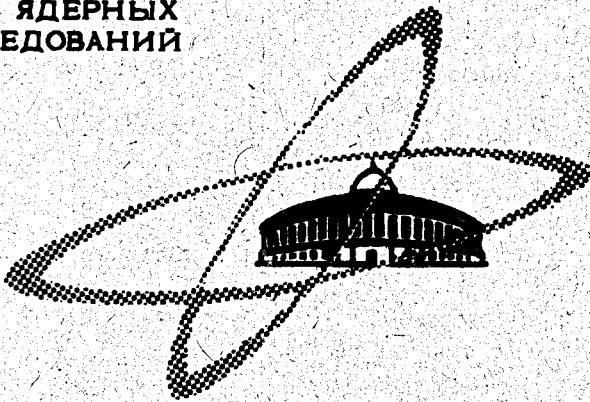
ПТЭ, 1970, № 5, с. 142-146. 18/V-70

0-572

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

13 - 5025



Б.Д. Омельченко

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

СИСТЕМА ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТА
100-САНТИМЕТРОВОЙ ЖИДКОВОДОРОДНОЙ
ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЫ

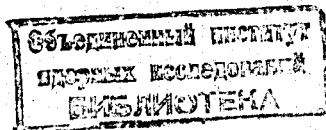
1970

13 - 5025

Б.Д. Омельченко

СИСТЕМА ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТА
100-САНТИМЕТРОВОЙ ЖИДКОВОДОРОДНОЙ
ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЫ

Направлено в ПТЭ



8332/2
45'

Проект системы питания электромагнита 100-сантиметровой жидководородной камеры предусматривал использование в качестве источника питания 3-х генераторов типа ГП-1500, работающих параллельно (номинальный ток электромагнита равен 15000 а). Кроме того, в случае использования четвертого генератора ГП-1500 предполагалось иметь систему питания для электромагнита 200-сантиметровой водородной камеры при попарно-параллельном включении генераторов и раздельном питании обмоток указанного электромагнита.

В процессе ввода в строй системы питания магнита проектное решение схемы автоматического регулирования подверглось существенным изменениям с целью создания надежной прецизионной установки.

В настоящей статье описаны основные усовершенствования и особенности системы питания с параллельно работающими генераторами, которые могут оказаться полезными при проектировании и эксплуатации аналогичных систем.

Силовая схема

Основу системы питания электромагнита (см. рис. 1) составляют генераторы постоянного тока 1+4 ГП. С помощью рубильников $P_1 + P_4$ любые три из них могут быть включены параллельно для работы на указанный магнит.

Токоподвод к электромагниту осуществляется по двоянным шиннопроводам, включенным параллельно на зажимах электромагнита. Такое выполнение шинпровода определялось вариантом питания электромагнита, 200-сантиметровой камеры.

Схема возбуждения генераторов

Обмотки возбуждения генераторов, собранных для параллельной работы (на рис. 1 это 1; 2; 4 ГП), с помощью рубильников P_5, P_6, P_8 соединяются последовательно и через балластный резистор R_B подключаются к тиристорному выпрямителю возбуждения (ТВВ), выполненному на тиристорах типа ВКДУ-150 (охлаждение естественное). Для управления ТВВ принята тиратронно-конденсаторная схема, хорошо зарекомендовавшая себя при работе с силовыми тиратронами типа ТР1-40/15, которые использовались в выпрямителе до внедрения тиристоров. Указанная схема предусматривает для каждой фазы наличие зарядно-сеточно-накального трансформатора ($ТР_2$), накопительной емкости (Сн), разрядного тиратрона (ТГЗ-С,1/1,3) и выходного разделительного трансформатора ($ТР_1$). Управление моментом зажигания разрядных тиратронов осуществляется выходными напряжениями блока регулятора напряжения (БРН) и усилителя постоянного тока (УПТ).

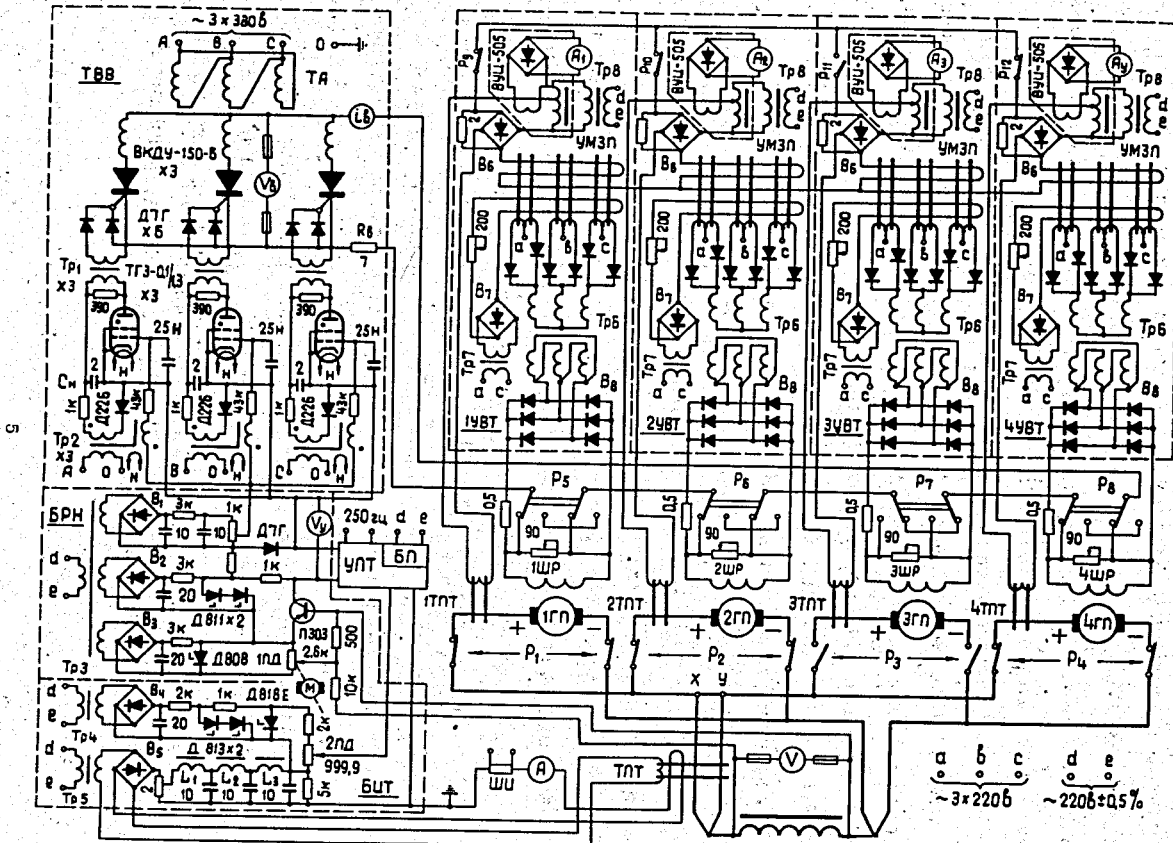


Рис.1. Принципиальная схема системы автоматического регулирования источника питания электромагнита.

Блок регулятора напряжения

Представленная на рис. 1 система питания отличается от систем аналогичного назначения с традиционной структурой наличием регулятора напряжения, работающего на поддержание постоянства напряжения на зажимах питаемого электромагнита.

Регулятор напряжения состоит из трансформатора питания TR_3 , выпрямителей B_1 (смещение для тиратронно-конденсаторной схемы), B_2 (источник питания регулируемого элемента), B_3 (источник опорного напряжения) (все на диодах ДТГ) и регулирующего элемента-транзистора ПЗОЗ, на вход которого подается разность напряжений опорного и обратной связи. Основное назначение регулятора напряжения - плавный подъем (снятие) тока возбуждения электромагнита жидководородной камеры, что диктуется требованием сохранения постоянства температурного режима самой камеры. Обычно подъем (снятие) стабилизируемого тока осуществляют моторным реостатом возбуждения. Однако применение подобного реостата (РВМ-3) в данном случае, как показывает практика, неоправданно: имеет место сильный нагрев и обгорание подвижных контактов при токе возбуждения генераторов в десятки ампер (30 ± 60 а), ток возбуждения электромагнита до вхождения в зону стабилизации не контролируется автоматически и его величина и скорость изменения целиком зависят от правильности манипуляций оперативного персонала. В случае использования БРН подъем (снятие) тока нагрузки осуществляется за счет потенциометра - датчика 1ПД (линейный проволочный потенциометр с червячным приводом) мотором М (типа МС-160) со скоростью не выше заданной.

В описываемой системе скорость изменения тока возбуждения электромагнита составляет 50 ± 70 а/сек при $J_{ном.} = 15\ 000$ а. Схема управления анодным контактором ТВВ выполнена так, что в случае срабатывания каких-либо блокировок в начале имеет место медленный съем

нагрузки регулятором БРН, а затем - отключение выпрямителя. Для схемы регулятора БРН должно быть выполнено условие:

$$U_{\text{вых. БРН}}^{\text{max}} \gg U_{\text{вых. УПТ}}^{\text{max}}$$

(практически это 15 и 7 в, соответственно). Такое решение позволяет исключить значительные скачки стабилизируемого тока при использовании декадного потенциометра (2ПД) в контуре стабилизации тока возбуждения электромагнита. При этом максимальный скачок тока составляет не более 2%. Кроме того, наличие контура стабилизации по напряжению повышает устойчивость всей системы автоматического регулирования.

Элементы регулятора суммарного тока

К элементам регулятора суммарного тока - тока возбуждения электромагнита относятся блок измерения тока (БИТ) с измерительным трансформатором постоянного тока (ТПТ) и усилитель постоянного тока (УПТ) (см. рис. 1 и 2). Измерительный трансформатор для повышения точности и расширения диапазона измерений охвачен отрицательной обратной связью по току выхода (схема Ю.Г. Толстова ^{1/}). ТПТ запитан от трансформатора Tr_4 (220/80 в) и имеет на выходе выпрямитель B_5 (Д242 х 4) с LC -фильтром из трех звеньев. Напряжение, снимаемое с выхода ТПТ, сравнивается с опорным напряжением потенциометра-датчика 2ПД. Источник опорного напряжения состоит из трансформатора Tr_4 (220/110 в), выпрямителя B_4 (Д7Г х 4) и 2-каскадного параметрического стабилизатора: Д813 х 2 - первый каскад, Д818Е - второй. Сигнал рассогласования поступает на вход УПТ. Представленный на рис. 2 усилитель постоянного тока яв-

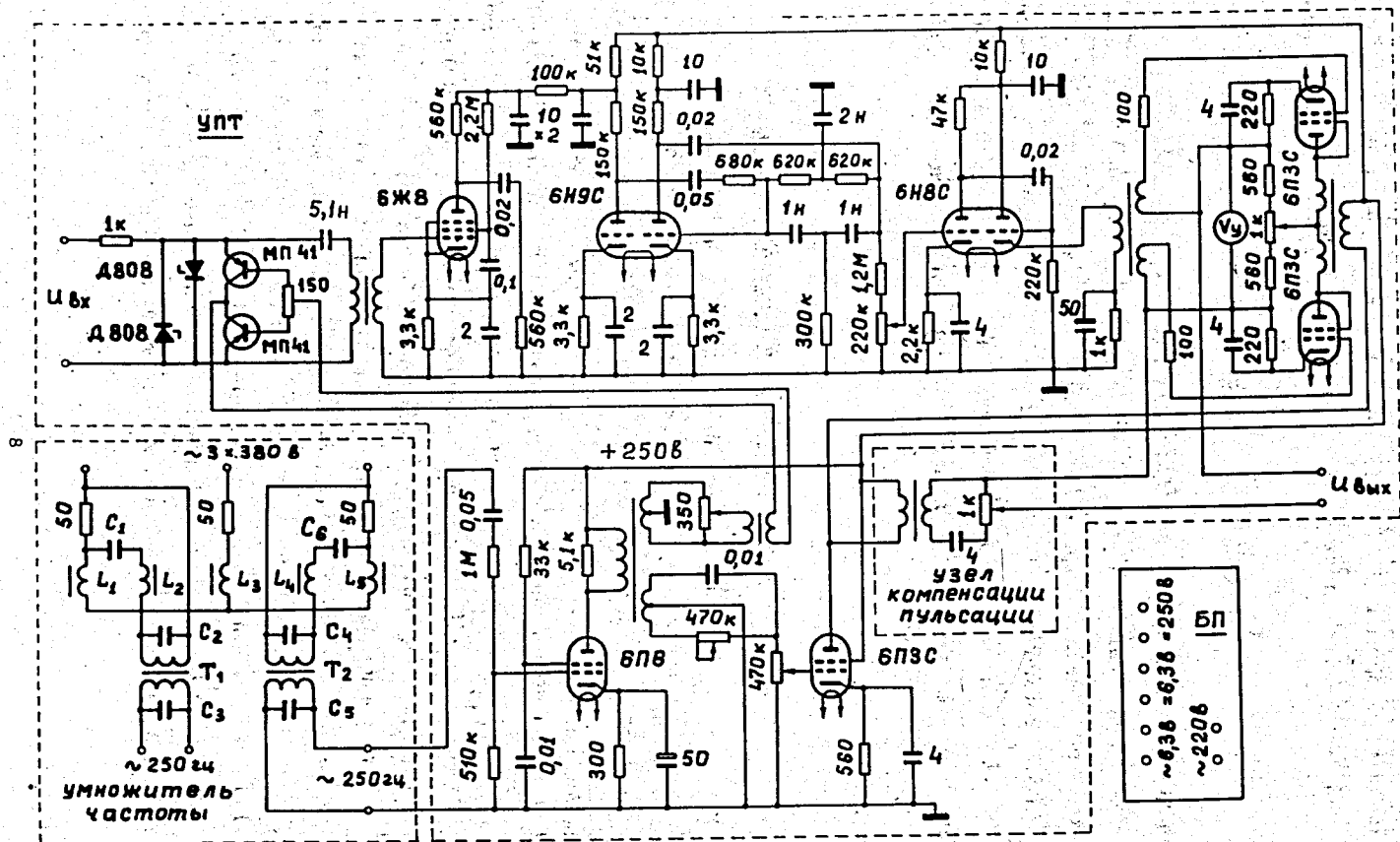


Рис.2. Принципиальная схема усилителя постоянного тока.

ляется усовершенствованным усилителем широко распространенной стойки стабилизации типа БТ-4. Усилитель имеет на входе транзисторный ключ по схеме инверсного включения. В усилителе отсутствует традиционный звуковой генератор, а несущая частота (250 гц) синхронизирована с сетью 3х380в путем подключения модулятора и демодулятора УПТ через вспомогательный усилитель (6П6-6ПЗС, см. рис. 2) к умножителю частоты (50 гцх5). Такое мероприятие повышает устойчивость системы за счет исключения возмущающих биений при рассинхронизации частоты напряжения пульсаций на выходе УПТ с частотой напряжения питания выпрямителя возбуждения ТВВ ^{/2/}. Умножитель частоты (см. рис. 2) собирается на дросселях (L_1, L_2, L_3) по схеме 3-фазной звезды, при этом сигналы, снимаемые с балластных резисторов (50 ом), не содержат гармоник, кратных трем. Эти сигналы фильтруются LC-фильтрами ($L_2 C_1; L_4 C_6$) и поступают через резонансные трансформаторы T_1 и T_2 на выход умножителя.

Указанные выше элементы настраиваются на резонансную частоту 250 гц. Описанный умножитель частоты является задающим элементом для целой группы систем стабилизации (в Лаборатории высоких энергий - для 40 систем). С целью повышения устойчивости системы и точности стабилизации в условиях динамических возмущений по сети питания на выходе демодулятора УПТ вместо обычных RC-фильтров, увеличивающих постоянную времени устройства, использована схема компенсации пульсаций ^{/3/}.

Описанная схема токовой стабилизации обеспечивает постоянство суммарного тока генераторов с точностью не хуже $\pm 0,05\%$ (2-недельные измерения напряжения с шунта ШИ, см. рис. 1, полуавтоматическим потенциометром типа P2/1).

Схема автоматического выравнивания нагрузок

Для выравнивания нагрузок между параллельно работающими генераторами обмотка возбуждения каждого из них подключена к устройству выравнивания тока 1+4 УВТ (см. рис. 1). Каждое устройство выравнивания тока состоит из трансформатора питания Тр6 и выпрямителя В₈ (Д242 х6). Выходной ток выпрямителей (ток подпитки обмоток возбуждения генераторов) регулируется магнитными усилителями типа УМЗП, включенными с первичной стороны трансформаторов Тр6.

Усилители УМЗП выполнены по схеме с внутренней обратной связью и обладают полярной чувствительностью к управляющему току (вернее, разной чувствительностью в зависимости от полярности тока управления). Именно это свойство усилителя с обратной связью было использовано при создании измерительного органа системы выравнивания токов между генераторами.

Измерительный орган состоит из измерительных трансформаторов постоянного тока 1+4 ТПТ ($J_{\text{ном.}} = 5000$ а), питаемых от блоков типа ВУИ-505 через разделительные трансформаторы Т₈ (220/220 в) и имеющих выходные выпрямители В₆ (Д242 х4), и обмоток управления усилителей УМЗП. С помощью рубильников Р₉+Р₁₂ указанные обмотки с подключенными к ним выпрямителями В₆ собираются в схему многолучевой звезды. Рабочая точка каждого усилителя УМЗП устанавливается током смещения (трансформатор Тр7, выпрямитель В₇) и соответствует

$$J_{B_8} = J_{B_8}^{\min}$$

Обмотки управления УМЗП подключены к выпрямителям В₆ таким образом, что в случае неравенства выходных напряжений последних из-за наличия уравнивающих токов между генераторами ток управления, протекающий от "своего" выпрямителя, действует против внутренней обратной связи, а ток от "соседнего" - согласно с ней. Следовательно, вып-

рямители V_8 существенно открываются только токами от соседних ТПТ. Нетрудно проследить, что схема, собранная по указанному принципу, стремится выравнять нагрузки генераторов.

Кроме описанного автоматического устройства обмотка возбуждения каждого генератора снабжена шунтирующим реостатом 1+4 ШР. С помощью этих реостатов оперативный персонал может вручную дополнительно "подравнять" нагрузки генераторов.

Специфика использования агрегатов многоцелевого назначения

Системы питания, используемые для нужд экспериментальной физики, из-за их высокой стоимости чаще всего являются системами многоцелевого назначения. Это обстоятельство приводит к тому, что системы изготавливают с индивидуальными токопроводами для каждого генератора. При необходимости указанные токопроводы запараллеливают в шкафах питания экспериментального зала. Как было показано в /4/, такое построение силовой схемы обладает рядом преимуществ: уменьшаются пусковые уравнильные токи, появляется возможность использования шинных ветвей - индикаторов уравнильных токов. Использование генераторов многоцелевого назначения для параллельной работы обладает спецификой, которую необходимо учитывать в случае автоматического регулирования.

Обычно при наличии многоцелевого шинпровода (шинпровода нескольких работающих параллельно генераторов) датчик суммарного тока (например, трансформатор постоянного тока) охватывает указанные шинпроводы (см. рис. 1). Измеряемые в этом случае ампер-витки соответствуют токам нагрузки каждого генератора плюс-минус уравнильный ток. Однако для реальных систем

$$J^+ \text{ уравни.} \neq J^- \text{ уравни.}$$

здесь J^+ уравни. и J^- уравни. - встречные уравнительные токи через датчик суммарного тока. Возникновение разностного уравнительного тока может быть объяснено наличием токов утечек. Разностный уравнительный ток не постоянен во времени из-за динамического характера перераспределения нагрузки между генераторами и является источником непрерывных возмущений системы автоматического регулирования. Наличие такого генератора возмущений, воздействующего на датчик суммарного тока, делает систему "органически" неустойчивой при больших коэффициентах усиления (сотни-тысячи единиц). В этом случае система не может быть переведена в устойчивое состояние обычными методами (успокоительные связи, корректирующие звенья). Единственной действенной мерой является исключение протекания уравнительных токов через датчик суммарного тока. Такое решение нашло применение в схемах, рассмотренных в /4/, и в данной системе (см. рис. 1, шинная перемычка "X-Y").

В заключение автор пользуется случаем выразить благодарность К.Я. Володиной, В.Д. Казакову и Л.И. Яковенко за участие в монтаже и наладке устройств автоматики системы питания магнита.

Л и т е р а т у р а

1. Ю.Г. Толстов. "Измерительные трансформаторы постоянного тока", Госэнергоиздат, 1951.
2. Б.Д. Омельченко. "Устройство для стабилизации постоянного тока", авт. св. №161372. Бюллетень изобретений №7, 1964.

3. Б.Д. Омельченко. "Устройство для стабилизации постоянного тока",
авт. св. №190947. Бюллетень изобретений №3, 1967.
4. Б.Д. Омельченко. Электричество, №1, 1965.

Рукопись поступила в издательский отдел
2 апреля 1970 года.