

0-572

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

11/II-69



13 - 4222

Б. Д. Омельченко

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ТИРАТРОННЫЙ РЕГУЛЯТОР  
ПОСТОЯННОГО ТОКА  
ДЛЯ СИЛОВЫХ БЛОКОВ СЕРИИ КВТМС-Т

1969

13 - 4222

Б.Д.Омельченко

ТИРАТРОННЫЙ РЕГУЛЯТОР  
ПОСТОЯННОГО ТОКА  
ДЛЯ СИЛОВЫХ БЛОКОВ СЕРИИ КВТМС-Т

Направлено в журнал "Электричество"



4672/2 пр

В настоящее время в области создания сильноточных систем питания для нужд экспериментальной физики имеется тенденция перехода от мотор-генераторных агрегатов к кремниевым выпрямителям, управляемым дросселями насыщения<sup>/1/</sup>.

Такой системой питания является силовой блок серии КВТМС-Т (кремниевый выпрямитель, трехфазный, масляного охлаждения, стабилизация токовая) конструкции Специального конструкторского бюро при Московском электрозаводе им. В.В.Куйбышева. Указанный блок питания предусматривает использование регулятора постоянного тока на магнитных усилителях, разработанный во Всесоюзном электротехническом институте им. В.И.Ленина<sup>/2/</sup>.

Как показали исследования, проведенные в Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований<sup>/3/</sup>, система питания с применением блоков серии КВТМС-Т обладает более высокими параметрами (стабильность, динамичность) в случае использования силового дросселя в режиме "трансформатора постоянного тока", а в качестве блока возбуждения - быстродействующего тиратронного регулятора.

В настоящей работе рассматривается разработанный в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ новый тиратронный регулятор, предназначенный для совместной работы с силовыми блоками серии КВТМС-Т.

## Регулятор типа БТ-104

На рис. 1 изображены элементы силового блока КВТМС-Т и принципиальная схема тиратронного регулятора типа БТ-104. С целью упрощения изображения на рис. 1 показан лишь один из 4-х выпрямительных мостов (КВ) силового блока, упрощена схема силового дросселя насыщения (ДН), показан один из 2-х понизительных трансформаторов (ТП).

Регулятор БТ-104 имеет общепринятую структуру: измерительный орган (датчик постоянного тока - масляный шунт, источник опорного напряжения) - усилитель постоянного тока (УПТ) - тиратронный выпрямитель, управляемый за счёт смещения синусоиды сеточного напряжения относительно кривой зажигания тиратронов. Синусоида сеточного напряжения (трансформаторы  $ТС_1 + ТС_3$ ) может смещаться либо вручную потенциометром смещения (ПС), либо автоматически выходным напряжением блока автоматического регулирования (БАР). БАР состоит из источника регулируемого опорного напряжения и УПТ. Следует указать на целесообразность подключения узла сеточного смещения по напряжению питания к сети питания анодных цепей тиратронного выпрямителя. Такое мероприятие позволяет в несколько раз ослабить возмущения системы регулирования по причине толчкообразных изменений в сети питания тиратронного выпрямителя (противофазность воздействия по цепям сетка - анод).

Силовой дроссель насыщения возбуждается (управляется) с помощью обмоток  $A_1 X_1 - A_2 X_2$ , при работе на малоамперную нагрузку может быть включена только одна обмотка  $A_1 X_1$ . Обмотка  $A_3 X_3$  используется для получения гибкой отрицательной обратной связи по потоку возбуждения ДН. Величина успокоительной связи выбирается с помощью потенциометра  $R_{ГОС}$ . С целью обеспечения условий техники безопасности все обмотки управления ДН имеют общую точку, которая подключается к катоду выпрямителя возбуждения и заземляется.

Цепь нагрузки регулятора БТ-104 (цепь возбуждения ДН) отличается отсутствием традиционного моторного реостата возбуждения (РВМ) и наличием реле токовой перегрузки (РТП). В системах стабильного тока, использующих широкоизвестные регуляторы типа БТ-4 или БТ-6, подъем нагрузки, выбор уставки тока и входение в зону стабилизации осуществля-

ются за счёт манипуляций тремя элементами управления: реостатом возбуждения ( $R_{РВМ} = 10 + 400$  ом), потенциометром-датчиком (ПД), потенциометром смещения (ПС). Использование в цепи нагрузки регулятора БТ-104 фиксированного сопротивления  $R_B = 16$  ом позволило не только отказаться от громоздкого РВМ, занимающего половину стандартной шитовой панели, но и существенно упростить процесс управления системой стабильного тока. В случае применения регулятора БТ-104 ток возбуждения ДН определяется только величиной напряжения смещения тиратронного выпрямителя. Последнее обстоятельство позволяет практически за счёт выходного напряжения БАР осуществить подъем-снятие нагрузки путем манипуляций одним только потенциометром-датчиком. Эта особенность регулятора БТ-104 может оказаться весьма ценной при питании поворотных электромагнитов-распределителей заряженных частиц: появляется возможность быстрого программного изменения в широких пределах тока питания за счёт программного изменения напряжения уставки без опасения выхода из зоны стабилизации.

Как было показано в <sup>3/</sup>, силовой блок серии КВТМС-Т, используемый без заложенных проектом элементов положительной обратной связи по току нагрузки, обладает свойствами трансформатора постоянного тока, для которого справедливо соотношение  $J = k i_v$ . Следовательно, ток нагрузки блока КВТМС-Т определяется только <sup>н</sup>током возбуждения (в известной степени, зависящей от "идеальности" дросселя насыщения). Это обстоятельство учтено в регуляторе БТ-104, который снабжен реле токовой перегрузки (типа ЭТ-521), действующим на снятие возбуждения с ДН, если по каким-то причинам (авария или ошибка оперативного персонала) ток возбуждения превысит величину, соответствующую допустимой нагрузке потребителя. Исходя из изложенного, можно сказать, что обычно практикуемая максимальная защита по постоянному току для случая блоков КВТМС-Т является нецелесообразной.

#### Блок автоматического регулирования

На рис. 2 изображена принципиальная схема блока автоматического регулирования (БАР). В качестве источника регулируемого опорного на-

пряжения БАР использован 2-ступенчатый параметрический стабилизатор напряжения с оконечным каскадом на стабилитроне типа ДЗ18Е и прецизионным потенциометром на выходе. В качестве потенциометра-датчика (ПД) использован потенциометр типа Р317, сопротивление которого уменьшено на порядок ( $R_{\text{пд}} = 999,9 \text{ ома}$ ). Основным элементом БАР является усилитель постоянного тока, в качестве которого используется видоизмененный стандартный электронный усилитель типа УМ109, применяемый обычно в электронных потенциометрах. Усилитель типа УМ109 имеет следующую структуру: механический преобразователь - усилитель переменного тока - однополупериодный фазочувствительный каскад с выходом на основной гармонике (50 гц). Структура УПТ БАР: механический преобразователь - усилитель переменного тока - фазоинверсный каскад - двухполупериодный фазочувствительный каскад с выходом на второй гармонике (100 гц) - кольцевой демодулятор, питаемый опорным напряжением от удвоителя частоты 50 гц. Выбор такой структуры УПТ связан со следующим обстоятельством. Тиратронный выпрямитель регулятора весьма чувствителен к "осциллографической" форме напряжения смещения, т.е. он может реагировать на пульсации указанного напряжения, что при определенных условиях приводит к скачкообразному изменению регулировочной характеристики и раскачке всей системы стабилизации. Принятый за основу усилитель типа УМ109 содержит на входе относительно надежный 50-герцевый преобразователь (типа ВП-2) и при несущей частоте в 50 гц имеет на выходе напряжение с пульсацией частотой 50 или 100 гц при одно-или двухполупериодном детектировании (соответственно). Напряжение смещения с пульсациями указанных частот является неприемлемым для выпрямителя, работающего на частоте 50 гц. Обычно в таких случаях на выходе УПТ включают RC - фильтры и ухудшают тем самым динамические свойства системы, либо используют специальные компенсирующие схемы<sup>14/</sup>. В УПТ регулятора БТ-104 достаточной мерой, направленной на получение работоспособной конструкции без ухудшения динамических свойств, оказалось удвоение несущей частоты в оконечном каскаде усилителя переменного тока. Таким образом, УПТ при 50-герцевом модуляторе имеет на выходе напряжение с пульсацией частотой 200 гц.

Силовой блок КВТМС-Т в совокупности с регулятором БТ-104 может работать в циклическом режиме. Циклический режим работы (см. рис. 1) после снятия наладки "Н" задается контактом устройства автоматики (УА). С целью ограничения форсировок на выходе УПТ БАР (см. рис. 2) тумблером Т<sub>0</sub> может быть включена диодная отсечка, ограничивающая форсирующее напряжение величиной +1,5 в (приблизительно). Аналогичная диодная отсечка применена для защиты прибора сеточного смещения ( $V_c$ ) от перегрузок при циклическом режиме работы (см. рис. 1).

### Конструктивное исполнение

Тиратронный регулятор типа БТ-104 (см. рис. 3) представляет собой блочную конструкцию, устанавливаемую на шите управления. Регулятор БТ-104 значительно компактнее существующих регуляторов аналогичного назначения: 640х475х360 (БТ-104), 160х530х460 (БТ-6), 2050х730х630 (БТ-4), 2050х1100х600 (магнитный регулятор КВТМС).

Блок автоматического регулирования (см. рис. 4) выполнен в виде шасси, на котором смонтированы: потенциометр - датчик, источник опорного напряжения, УПТ. Компановка в одном блоке всех элементов регулятора, включая элементы управления, представляет, с нашей точки зрения, значительный интерес, т.к. позволяет избавиться от связывающих кабельных линий, повысить надежность межблочных соединений, большинство из которых выполняется пайкой, и создать дополнительное удобство для оперативного персонала. Дежурный одновременно с проверкой режима системы питания по приборам может наблюдать работу тиратронов (типа ТР1-5/2) через светофильтр (желтый или зеленый), закрывающий проем на фасаде регулятора.

## Практические результаты

В Лаборатории высоких энергий ОИЯИ регуляторами типа БТ-104 оснащены два блока КВТМС-Т, один из которых имеет мощность 320 квт, а второй - 560 квт. Обе системы прошли всесторонние испытания и зарекомендовали себя надежными, удобными в эксплуатации высокоточными устройствами. На блоках КВТМС-Т, работающих с регуляторами БТ-104, достигнута в номинальном режиме высокая стабильность тока нагрузки: не хуже  $\pm 0,002\%$ . На рис. 5 приведена диаграмма тока электромагнита типа СП-12 ( $J_H = 1000$  а,  $U_H = 150$  в, источник - КВТМС-Т - 560 квт), показывающая не только стабильность, но и достаточно высокую динамичность и чувствительность системы при скачкообразном изменении уставки тока.

Система КВТМС-Т-БТ-104 обеспечивает стабильность тока питания значительно лучше  $0,01\%$  и при работе на малоинерционные нагрузки, какими являются квадрупольные магнитные линзы. Следует указать на то, что рассматриваемая система питания дает высокую стабильность тока в очень широком диапазоне изменений как тока, так и напряжения нагрузки. Так, например, для КВТМС-Т-320 квт с выпрямительными мостами, собранными на выходное номинальное напряжение 230 в и ток 1390 а, при работе на линзу типа МЛ-16 ( $R = 0,150$  ома,  $L = 0,115$  гн) стабильность тока оказалась не хуже  $\pm 0,015\%$  при  $U_H = 15$  в,  $J_H = 100$  а и  $\pm 0,003\%$  при  $U_H = 30$  в,  $J_H = 200$  а (остаточное напряжение и остаточный ток при указанной нагрузке составляют соответственно 10,5 в и 70 а). Стабильность тока во всех указанных случаях проверялась с помощью компенсационной схемы, использующей источник опорного напряжения на стабилитроне типа Д818Е и нуль-индикатор-самописец типа ЭПП-09 зм, по падению напряжения на масляном шунте. Значение стабилизируемого тока фиксировалось сразу после вхождения системы регулирования в зону стабилизации. Как было показано в <sup>3/</sup>, в системе питания КВТМС-Т-БТ практически отсутствуют уходы тока, связанные с прогревом цепей нагрузки. Для таких систем существенным является только температурный уход источников опорного напряжения. Длительная термостабильность для рассматриваемой системы, исходя из технических условий на стабили-



троны типа Д818Е, может быть оценена в 0,01%, хотя контрольные многочасовые замеры показывали лучшие значения.

Полученные по системе КВТМС-Т-БТ результаты показывают, что описанное устройство обеспечивает стабильность тока питания с точностью, которая не уступает точности зарубежных разработок последних лет <sup>/5/</sup>.

В разработке конструктивных элементов регулятора принимал участие В.Д.Казаков, им же изготовлены опытные образцы устройства типа БТ-104.

#### Л и т е р а т у р а

1. Ю.Г.Толстов, Г.П.Мосткова, Ф.И.Ковалев. Силовые полупроводниковые выпрямители, управляемые дросселями насыщения. Изд-во "Наука", Москва, 1968.
2. Б.Б.Гельперин, Э.Л.Злобинский. Методика расчёта стабилизатора, работающего на принципе управляемого дросселя. Вестник электропромышленности. №4 (1963).
3. Л.Н.Беляев, В.С.Григорашенко, В.М.Нехаев, Б.Д.Омельченко, Н.И.Павлов. Исследование совместной работы силового блока серии КВТМС-Т с регулятором типа БТ-4. Препринт ОИЯИ, № 13-4004, 1968.
4. Б.Д.Омельченко. Устройство для стабилизации постоянного тока. Авт. св. № 190947, 11 ноября 1964.
5. Brentford Electric Ltd. High Stability Regulated Rectifiers (проспект английской фирмы).

Рукопись поступила в издательский отдел

3 января 1969 года.

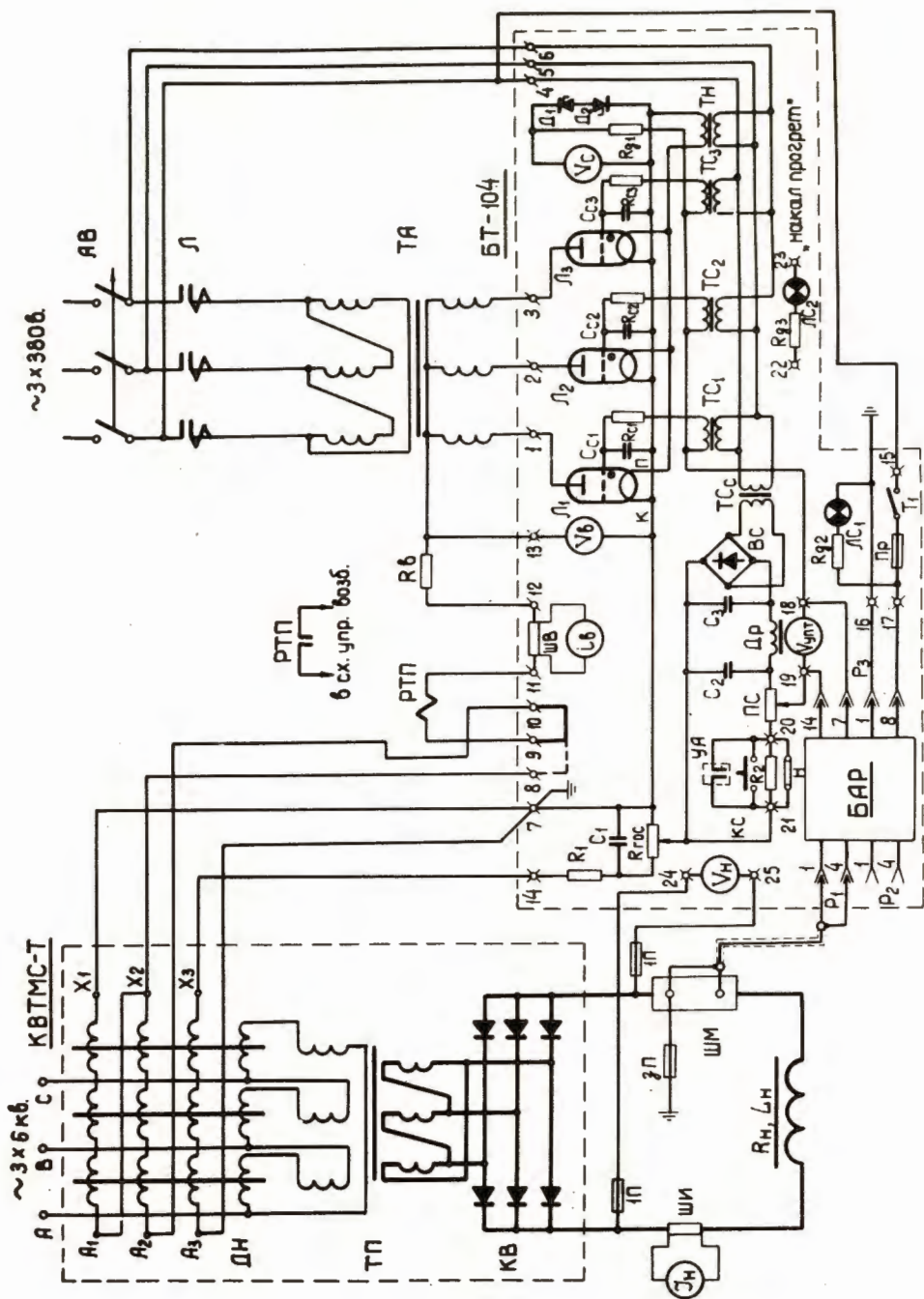


Рис. 1. Принципиальная схема регулятора типа БТ-104.

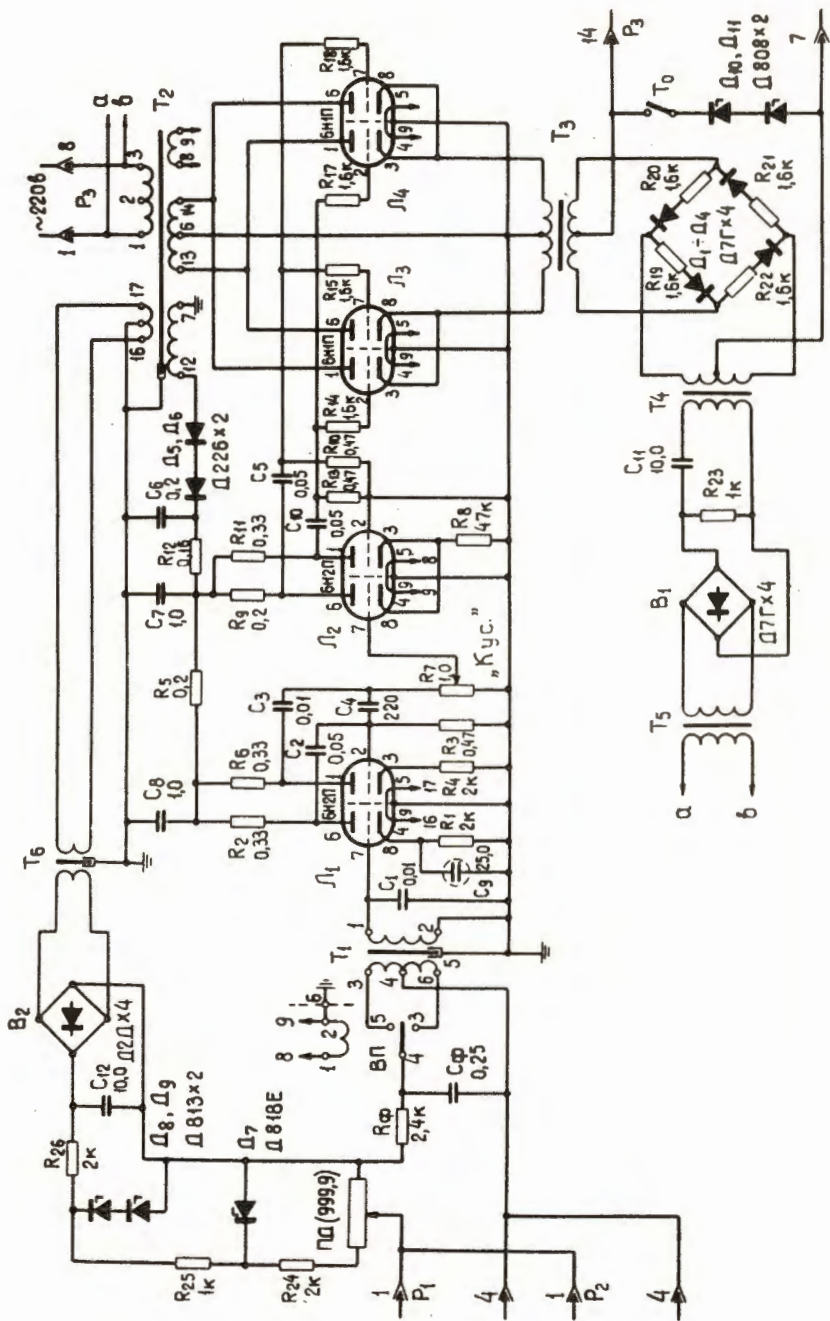


Рис. 2. Принципиальная схема блока автоматического регулирования (БАР).

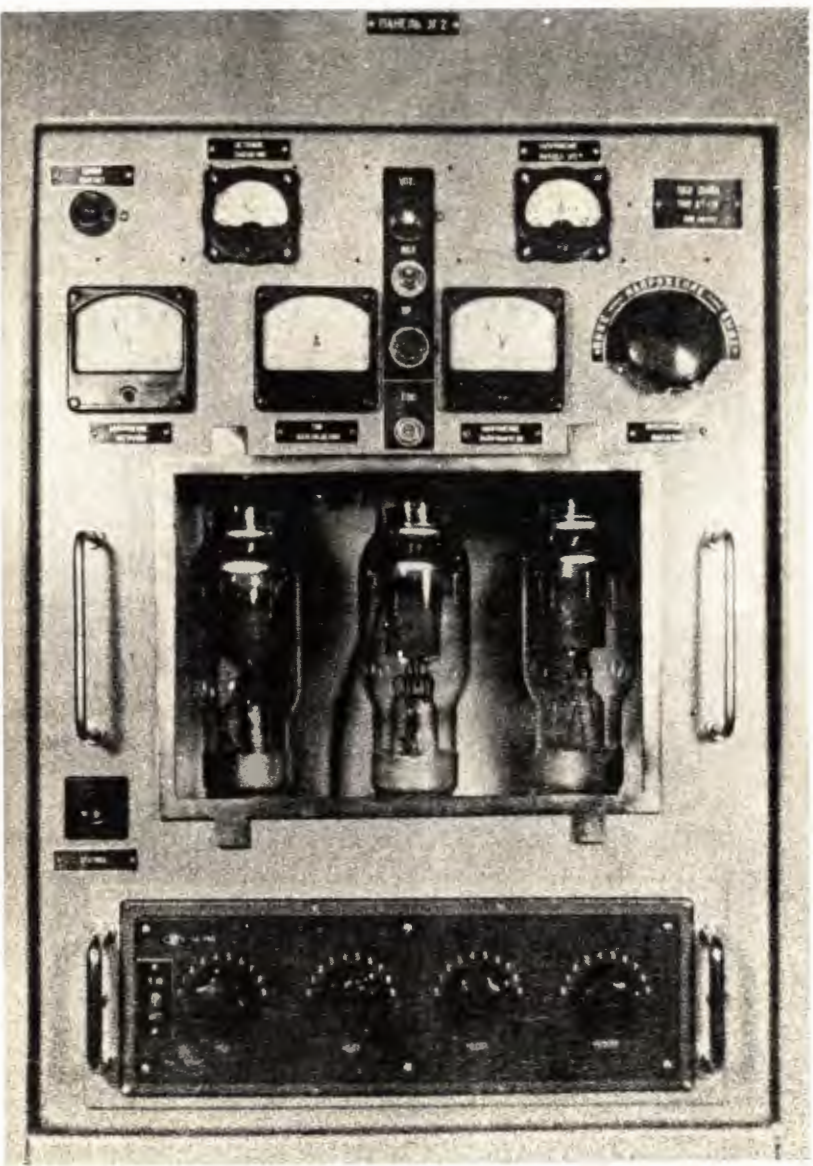


Рис. 3. Регулятор типа БТ-104 (фасад).

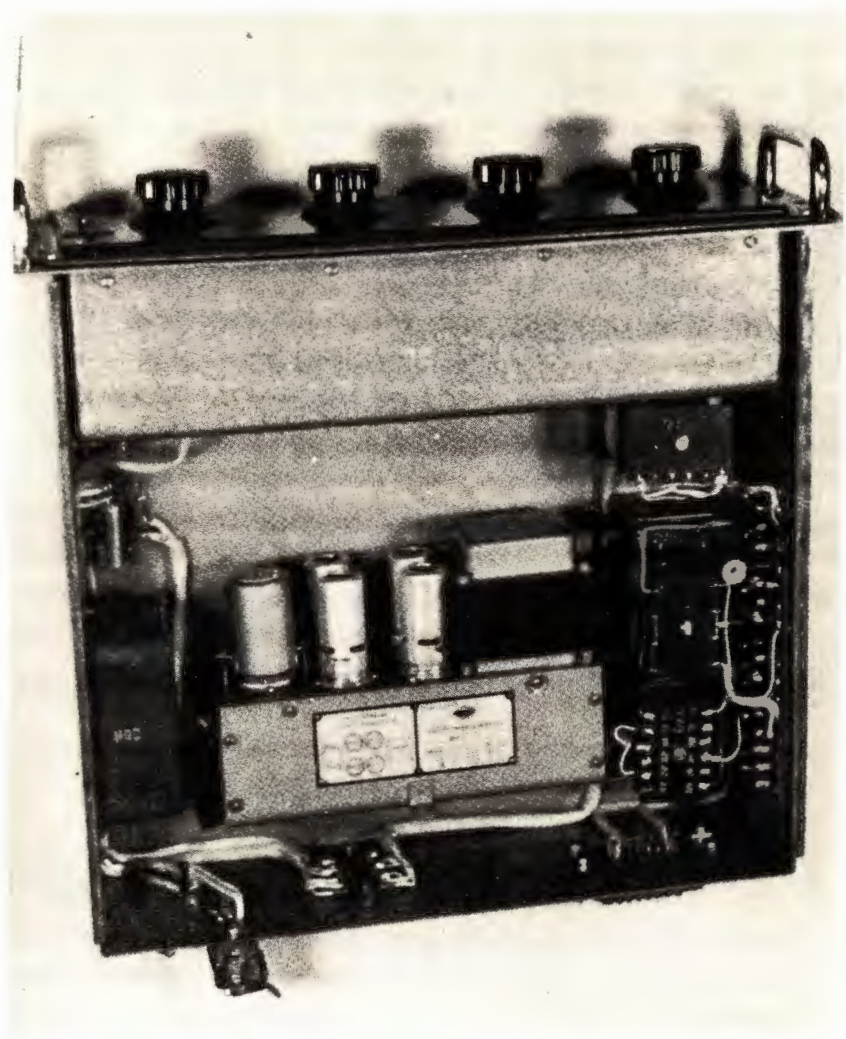


Рис. 4. Блок автоматического регулирования (вид снизу).

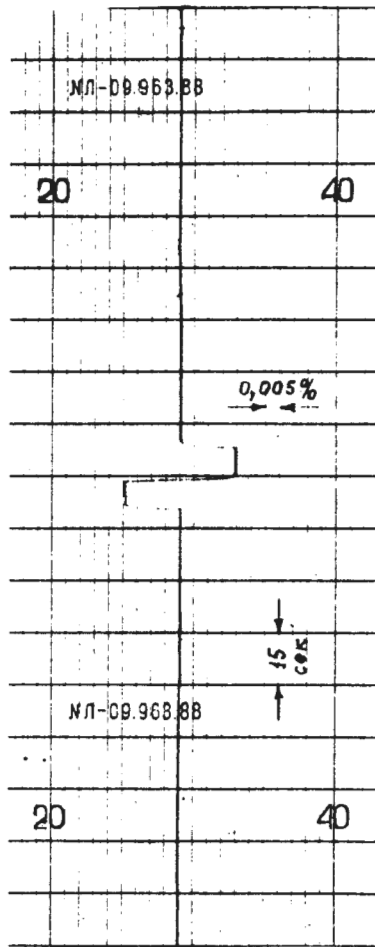


Рис. 5. Диаграмма тока магнита типа СП-12 ( $R = 0,15$  ома,  $L = 1,02$  гн.) на уровне 1000 а.