

С 344.3а

0-572

16/II-68

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

2484



Б.Д. Омельченко

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
И ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ СТОЙКИ
ТИПА БТ-4 В ЛАБОРАТОРИИ ВЫСОКИХ
ЭНЕРГИЙ ОИЯИ

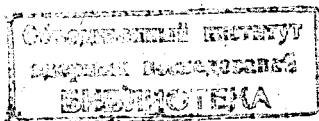
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1965

2484

Б.Д. Омельченко

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
И ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ СТОЙКИ
ТИПА ВТ-4 В ЛАБОРАТОРИИ ВЫСОКИХ
ЭНЕРГИЙ ОИЯИ



I. Основные направления усовершенствований

Как показал семилетний опыт эксплуатации стоек типа БТ-4, применяемых в системах стабилизации постоянного тока, основными вопросами практического использования указанных стоек являются:

- а) проверка и настройка УПТ,
- б) устойчивость систем автоматического регулирования, их динамичность и динамические погрешности.

II. Схема бесстендовой проверки и настройки УПТ

Наиболее ненадежным узлом стойки БТ-4 является механический преобразователь УПТ, выполненный на реле РП-5, работающем с превышением допустимой частоты преобразования (250 гц против 100 гц допустимых).

Склонность механического преобразователя к расстройке (окончательной или вырвавшейся в изменении скважности) вызывает необходимость иметь систематический контроль за работой УПТ БТ-4 при условии простейших манипуляций обслуживающего персонала. Как показала практика, наиболее действенной в этом отношении является схема бесстендовой проверки и настройки, позволяющая оперативному персоналу быстро, без переноски блоков УПТ на специальные проверочные стенды, выявить неисправность блока или провести профилактическую проверку всех блоков УПТ перед непосредственным включением магнитных каналов, для питания которых обычно используется одновременно большое количество (до 20 - 30) систем стабилизации постоянного тока. Система бесстендовой проверки и настройки, изображенная на рис. 1. основана на использовании делителя, подключенного к нормальному элементу. Применение делителя на НЭ позволяет, с одной стороны, расширить диапазон стабилизируемых токов, включив область малых значений, а с другой стороны, дает возможность проверить работу УПТ в рабочей зоне - зоне долей милливольт.

Схема проверки состоит из собственно делителя ($R_{10} - R_{12}$), тумблеров проверки $T_1 - T_3$ и контрольного прибора (15 - 0 - 15 в), установленного на выходе

фазового детектора каждого блока УПТ. Операции по проверке работоспособности УПТ проводятся при остановленном агрегате и сводятся к следующему:

1. При потенциометре - датчике (ПД), стоящем в каком-то среднем положении или положении максимального съема сигнала, после балансировки фазового детектора потенциометром R 30 (при вынутой лампе Л3) тумблеры T_1 и T_2 ставятся в разные положения. В этом случае схема делителя НЭ отключается и усилитель "прослушивает" входные цепи, определяя степень наводок, экранировку входных цепей, наличие или правильность заземления входных цепей. В случае исправности входных цепей вольтметр ИП-5 остается на нуле или показывает значение, близкое к нулю.

2. Если агрегат вращается или имеется наводка на питаемый магнит, то, поставив ПД в положение нулевого съема сигнала (все курбеля на нулях) или просто против переключки входные клеммы УПТ, если ПД стоит в каком-то среднем положении и для обслуживающего персонала затруднительно выполнять указанные манипуляции с ПД из-за большого расстояния между стойкой БТ-4 и пультом управления, где обычно располагаются потенциометры - датчики, ставят тумблеры $T_1 - T_2$ в положение "работа", тумблер T_3 - в положение "с делителем", а тумблер T_4 - в положение "снятие характеристики". В этом случае, если тумблер T_4 стоит в верхнем положении, то на вход УПТ подается сигнал величиной в 1 мв, а при нижнем положении - 0,5 мв, т.е. схема обеспечивает проверку коэффициента усиления по двум точкам: 0,5 и 1 мв. Нужный коэффициент усиления устанавливается потенциометром R 18.

Так как УПТ является фазочувствительным усилителем, то, поставив тумблеры $T_1 - T_2$ в положение "проверка", проверяют его фазочувствительность. Оптимальная фазочувствительность, достигаемая фазовращателем $C_{23} \sim R_{40}$, должна быть проверена на воздействие большим сигналом, так как большие сигналы могут вызвать значительные фазовые сдвиги в усилителе. Указанная операция достигается тем, что после проверки усилителя в зоне 0,5-1 мв тумблер T_3 ставят в положение "без делителя" (аналогичный результат может быть получен постановкой T_3 в положение "откл.") и одновременным перебросом T_1 и T_2 проверяют фазочувствительность усилителя при больших сигналах, проводя визуальное наблюдение по вольтметру на выходе УПТ. Как показывает практика, приходится зачастую искать "компромиссных" фазовых соотношений, чтобы усилитель сохранял высокую фазочувствительность при малых и больших сигналах, но главное внимание при этом следует уделять, конечно, рабочей зоне, т.е. уровню 0,5 - 1 мв.

После проверки УПТ и настройки его на оптимум, тумблер T_3 ставится в положение "отключено". В этом случае, если тумблер T_3 оставить в положении "с делителем", то возможна работа с опорным напряжением, равным $0,50 U$ нэ или $0,25 U$ нэ в зависимости от положения тумблера T_4 . В качестве делителя ис-

пользованы сопротивления типа МГП-0,5; 270 ком ($R_{10} - R_{40}$), откалиброванные с точностью до 0,02% так, что не отличаются друг от друга в одном комплекте более чем на 0,05%. Указанная калибровка производилась с целью обслуживания систем стабилизации устройством централизованного контроля стабильности. Сопротивление R_{40} выбрано равным 560 ом (типа МЛТ). В схеме делителя применены надежные в смысле контактов, как показал год эксплуатации, тумблеры типа ТВ2-1. Использование схемы бесстендовой проверки и настройки УПТ в ЛВЭ позволило наладить четкое и оперативное обслуживание 24-х систем стабилизации со стойками БТ-4 и довести уровень стабильности тока при ежедневной непрерывной работе агрегатов до 0,05%.

III. Вопросы устойчивости и динамики

Работы, связанные с устойчивостью систем автоматического регулирования были направлены на:

- а) устранение возмущающих факторов;
- б) уменьшение постоянной времени УПТ;
- в) использование успокоительных связей.

- а) Синхронизация несущей частоты блоков УПТ с сетью 50 гц

В выпускаемых промышленностью стойках БТ-4 питание механического преобразователя и фазового детектора УПТ осуществляется от автономного звукового генератора, работающего с частотой 245-255 гц. Указанное обстоятельство приводит к тому, что пульсации выходного напряжения УПТ, управляющего тиристорным выпрямителем БТ-4 скользит вдоль синусоиды сетевого напряжения и вызывает раскачку выпрямителя. Ниже показана зависимость амплитуды раскачки выпрямленного напряжения на уровне 240 вольт в функции от величины (эффективного значения) пульсации выходного напряжения УПТ на сетках тириستоров.

U пульсаций (эф) (в)	1,1	0,8	0,2	0,08
ΔU выпр. (в)	45	20	7	2

Из приведенной таблицы видно, что раскачка весьма значительна даже при малой пульсации. При этом нужно учитывать, что последствия перемещаемой пульсации наиболее значительны при малой рассинхронизации частоты звукового генератора по отношению к частоте 50 гц, т.к. результат воздействия возмущения на стабилизируемый ток зависит от постоянной времени генератора и питаемого магнита. В выпускаемых

промышленностью БТ-4 подавление пульсации на выходе УПТ осуществляется с помощью RC-фильтра, что является, однако, причиной увеличения постоянной времени УПТ и приводит к увеличению неустойчивости системы. В Лаборатории высоких энергий разработана система стабилизации тока, в которой несущая частота УПТ синхронизирована с частотой сети 50 гц путем подключения усилителей, питающих механические преобразователи и фазовые детекторы, к умножителю частоты, включенному в сеть $- 3 \times 380 \text{ в}^{\text{х/}}$.

Сигнал от умножителя частоты подается в цепь сетки лампы Л8 через клеммы Г-8 шкафа БТ-4 (см. рис. 1 и 2). Сам умножитель частоты состоит из 3-х дросселей, соединенных по схеме звезды и подключаемых к 3-фазной сети 380 в через небольшие по величине (50 ом) сопротивления. Напряжение, снимаемое с указанных сопротивлений, фильтруется LC-фильтрами, настроенными на частоту 250 гц, и поступает на разделительные трансформаторы, также настроенные в резонанс на частоте 250 гц.

В реализованном умножителе частоты используется напряжение только с 2-х сопротивлений - источников 250 гц, поэтому имеется две фильтрующие цепочки и два выходных разделительных трансформатора. На каждый выход умножителя подключено параллельно по 12 стоек БТ-4 т.е. один умножитель частоты обслуживает все имеющиеся в системе питания магнитов и линз стойки БТ-4. Опыт показывает, что, благодаря высокоомным входным цепям усилителей блоков УПТ количество БТ-4 на один умножитель может быть взято в 2 - 3 раза большим.

Применение синхронизации несущей частоты полностью исключило возможность низкочастотных, т.е. наиболее трудно устранимых, колебаний систем автоматического регулирования.

б) Уменьшение постоянной времени УПТ

Работа системы стабилизации постоянного тока в условиях циклических колебаний сети и наводок в обмотки питаемых магнитов, связанных с циклической работой магнита синхрофазотрона и меняющимися полями рассеивания последнего, выявила необходимость иметь максимальную динамичность системы автоматического регулирования. Указанное обстоятельство обусловлено тем, что погрешности в таких системах стабилизации носят в основном динамический характер и во много раз (до 10 и более) превосходят статические (дрейфовые) погрешности. Наибольшую динамичность обеспечивает система автоматического регулирования с минимальными постоянными времени отдельных звеньев при условии устойчивости с заданным коэффициентом усиления.

^{х/} Б.Д. Омельченко "Устройство для стабилизации постоянного тока". Авторское свидетельство № 161372.

Система может иметь звенья со значительными постоянными времени и быть устойчивой благодаря применению специальных мер (гибкие отрицательные обратные связи, корректирующие звенья и т.д.), но в этом случае при малых статических погрешностях будут иметь место недопустимо большие динамические погрешности.

В системах стабилизации с использованием стоек БТ-4 существенной постоянной времени обладает усилитель постоянного тока из-за наличия сглаживающих RC-фильтров на выходе. Применение синхронизации несущей частоты позволяет значительно уменьшить постоянную времени RC-фильтров (кроме снятия возмущающего воздействия), но полностью отказаться от применения RC-фильтров все же не представляется возможным из-за скачкообразного изменения характеристики выпрямителя при его управлении напряжением, искаженным кривой пульсации. Указанная задача при условии полного исключения RC-фильтров решена в Лаборатории высоких энергий путем использования на выходе УПТ компенсирующего устройства, состоящего из разделительного трансформатора Тр 13, фазосдвигающего конденсатора C_{21} и потенциометра R_{44} , с которого 250-герцевое напряжение подается встречно напряжению пульсации (см. рис. 1). Схема компенсации настраивается на оптимум при нулевом входном сигнале УПТ, т.е. компенсация будет наиболее полной в рабочей (нулевой) зоне УПТ. Схема компенсации, не внося дополнительной постоянной времени, позволяет, как показала практика, уменьшить пульсацию на выходе УПТ в 10 - 15 раз, а в отдельных случаях даже в 30 - 50 раз.

Уменьшение постоянной УПТ повысило устойчивость систем, а в отдельных случаях позволило вообще отказаться от применения успокоительных устройств при коэффициенте усиления УПТ, равном 5000, и полученной стабильности тока не хуже 0,05%. К мерам, направленным на ограничение величины пульсации на выходе УПТ относится использование принципа более равномерного распределения коэффициента усиления между усилителем переменного тока и фазовым детектором. Указанное положение достигается путем использования потенциометра R_{41} в сеточной цепи лампы Л7, позволяющего регулировать напряжение на анодном трансформаторе фазового детектора Тр 4. В реализованных схемах оно поддерживается на уровне 75 ± 80 вольт (против 180 ± 230 проектных).

в) Использование успокоительных связей

В системах стабилизации постоянного тока, эксплуатируемых в Лаборатории высоких энергий, используется успокоительная обратная отрицательная связь по току возбуждения генератора питания с введением сигнала в цепь управления тиристорного выпрямителя возбуждения (см. рис. 2). Напряжение, пропорциональное току возбуждения, снимается с реостата возбуждения (РВМ), подается на клемму "23" стойки БТ-4, фильтруется Др 3 - C_{32-33} и через цепочку $C_{34-35} - R_{53}$ подается на со-

протяжение R_{52} , включенное в цепь сетка-катод тиратронного выпрямителя возбуждения. Приведение системы автоматического регулирования в устойчивое состояние достигается путем подбора постоянной времени цепи обратной связи ($C_{34-35} - R_{53}$).

IV. Другие усовершенствования стойки БТ-4

1. Расширение рабочей зоны тиратронного выпрямителя

Тиратронный выпрямитель стойки БТ-4 управляется перемещением силовиды сеточного напряжения относительно кривой зажигания тиратронов. Схема по проекту допускает только 60- и 120-градусный сдвиг сеточного напряжения относительно анодного, что дает весьма узкую рабочую зону выпрямленного напряжения. Как показала практика, указанная зона может быть увеличена благодаря применению 80-градусного сдвига сеточного напряжения относительно анодного в сторону отставания.

В реализованных схемах указанный сдвиг достигается применением в сеточных цепях тиратронов конденсаторов ($C_{27} - C_{28} - C_{29}$) величиной в 0,25 мф.

2. Усовершенствование цепи управления тиратронным выпрямителем

Применение в цепи управления тиратронного выпрямителя мощного потенциометра смещения величиной в 2600 ом, как показала практика, не оправдано и служит элементом ненадежности из-за намотки тонкой проволокой и постоянной работы токосъема в одной узкой зоне реостата, т.к. рабочая зона выпрямителя находится в пределах 1-10 в. (минус), а напряжение смещения, прикладываемое к реостату, составляет 60-80 в.

Целесообразным оказалось использование в качестве потенциометра смещения стандартного проволочного потенциометра мощностью 4 вт и величиной 500 ом с добавочным сопротивлением 3 ком (три МЛТ - 2 параллельно). За 5 лет эксплуатации указанного узла смещения не было ни одного случая нарушения стабильности тока из-за его неисправности, в то время как 2600-омный реостат из-за прерывания контакта неоднократно выходил из строя, в результате чего нарушался режим работы. Тиратронные выпрямители систем возбуждения агрегатов питания магнитов и линз предусматривают управление в зависимости от наличия ускорения на синхрофазотроне, а также в зависимости от заданной программы циклической работы (см. рис. 2, схема смещения). На рисунке представлена схема перераспределения сеточного смещения в зависимости от наличия ускорения (реле РП), в зависимости от избранного цикла при циклической работе только на каком-то определенном цикле синхрофазотрона (реле РИЦ) и в зависимости от наличия управляющего импульса при циклической работе

с каждым циклом (реле РЦ) (в последнем случае должна быть снята закорачивающая накладка, переводящая систему питания в статический режим). Указанные узлы сеточного управления позволяют осуществлять автоматически оптимальный режим питания.

V. Некоторые вопросы эксплуатации

Многолетняя практика использования стоек БТ-4 позволяет сделать некоторые выводы относительно их эксплуатации.

1. Стойки БТ-4 должны располагаться в помещениях с достаточно постоянной во времени температурой. Изменение температуры сильно влияет на работу механического преобразователя, вызывая его разрегулировку. По этой причине нецелесообразным является размещение стоек БТ-4 в неотапливаемых помещениях или вблизи вентиляционных и отопительных устройств.

2. Стойки БТ-4 должны располагаться вдали от вибрирующего силового оборудования, вызывающего сильный шум и мешающего определению на слух исправности прерывателя. Оптимальным является расположение стоек БТ-4 в помещениях щитов управления, так как только своевременное вмешательство оперативного персонала может обеспечить безаварийную работу такого весьма ненадежного оборудования. Кроме того, размещение всех стоек БТ-4 в одном месте позволяет быстро провести комплексную проверку и подстройку всех УПТ перед включением в работу большого количества систем.

3. Должным образом поставленная служба эксплуатации стоек БТ-4 при условии наличия резервных блоков УПТ обеспечивает непрерывную многодневную работу большого количества систем стабилизации с поддержанием постоянства тока не хуже 0,05%.

Рукопись поступила в издательский отдел
4 декабря 1965 г.