



**ПРИКЛАДНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА**

## **РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ**



**ИСТОЧНИК ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ДЛЯ  
МАГНЕТРОННЫХ РАСПЫЛИТЕЛЬНЫХ  
СИСТЕМ АРЕL-M-60BP-660**

**Томск 2012**



## Оглавление

1 Введение .....	3
2 Назначение .....	3
3 Меры безопасности .....	3
4 Принцип действия .....	5
4.1 Биполярное питание .....	5
4.2 Принцип построения .....	6
4.3 Структура блока управления APEL-3CU-8 .....	8
4.4 Структура силового блока APEL-10BP-330 .....	10
4.5 Структура блока инициации разряда APEL-IG-1500 .....	11
5 Технические данные .....	14
6 Общие указания по вводу в эксплуатацию.....	16
6.1 Распаковывание и повторное упаковывание блоков и принадлежностей .....	16
6.2 Сборка источника питания.....	16
6.3 Порядок установки .....	17
6.4 Подготовка к работе .....	17
7 Порядок работы.....	18
7.1 Порядок включения .....	18
7.2 Органы управления .....	18
7.3 Работа с экраном.....	19
7.4 Настройка дугоподавления.....	22
7.5 Работа в режиме постоянного тока.....	22
7.6 Работа в импульсном режиме .....	22
8 Автоматизированное управление источником питания .....	23
8.1 Управление по протоколу ModBus .....	23
8.2 Управление дискретными сигналами .....	25
8.3 Рекомендуемая логика управления .....	25
9 Устранение неполадок.....	27
11 Техническое обслуживание .....	28
12 Правила хранения .....	28
13 Транспортирование .....	28
14 Гарантии изготовителя.....	28
15 Данные проверок устройства .....	29
16 Свидетельство о приемке.....	29
17 Сведения о рекламациях.....	29
18 Данные по эксплуатации устройства .....	30
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 Коды ошибок силового блока .....	31



## 1 ВВЕДЕНИЕ

Благодарим Вас за покупку источника питания серии APEL-M-60BP-660!

### **Торговая марка:**

все торговые марки APEL являются законной собственностью их владельцев.

### **Авторское право:**

данная инструкция и вся содержащаяся в ней информация защищены авторским правом.

Настоящее руководство предназначено для ознакомления с источником питания (в дальнейшем ИП) и устанавливает правила эксплуатации, соблюдение которых обеспечивает его поддержание в постоянной готовности к работе.

## 2 НАЗНАЧЕНИЕ

Источник питания APEL-M-60BP-660 предназначен для питания магнетрона постоянным или импульсным током мощностью до 60 кВт.

### **Условия эксплуатации:**

- температура окружающего воздуха от 0 до плюс 35 °С;
- относительная влажность воздуха до 95 % при температуре плюс 25 °С.

ИП конструктивно представляет собой стойку высотой 47U, шириной 600 мм и глубиной 800 мм.

## 3 МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Устанавливайте ИП только в закрытых помещениях с контролируемой температурой и влажностью воздуха.

### **Электробезопасность**

1. Перед началом работы необходимо:

- провести визуальный осмотр блоков в стойке ИП, обратив особое внимание на наличие заземления блоков и стоек, целостности розеток, штепселей;
- проверить целостность и правильность подключения кабелей, оптоволоконных линий;
- проверить отсутствие посторонних предметов в системе воздушного охлаждения силовых блоков;
- проверить наличие огнетушителя в помещении;
- включить напряжение в электрической сети помещения главным рубильником;
- включить электропитание управляющей ЭВМ, а затем питание системы подачи потенциала смещения.

2. Порядок работы с ИП выполнять согласно разделу 7 .



3. В случае обнаружения неисправности, угрожающей пожаром, взрывом или несчастным случаем (обрыв проводов, замыкание на землю, наличие напряжения на корпусах приборов и т. п.), следует обесточить оборудование и принять все необходимые меры, предупреждающие опасность и сообщить о случившемся администрации.

4. Во избежание поражения электрическим током следует перемещать составные части ИП только в обесточенном состоянии.

5. При использовании электрооборудования, не имеющего зануления, его следует располагать так, чтобы исключить одновременное касание корпуса прибора, не имеющего зануления, и корпуса ИП.

6. Требования безопасности по окончании работ:

- отключить электропитание ИП;
- отключить электропитание управляющей ЭВМ;
- отключить напряжение в электросети главным рубильником.

**Запрещается:**

- использование для работы ИП неисправных блоков, блоков с открытым корпусом;
- загромождать фронтальную или тыльную сторону стойки, нарушая приток или отток воздуха;
- подключать нагрузку к ИП с помощью нештатных кабелей.

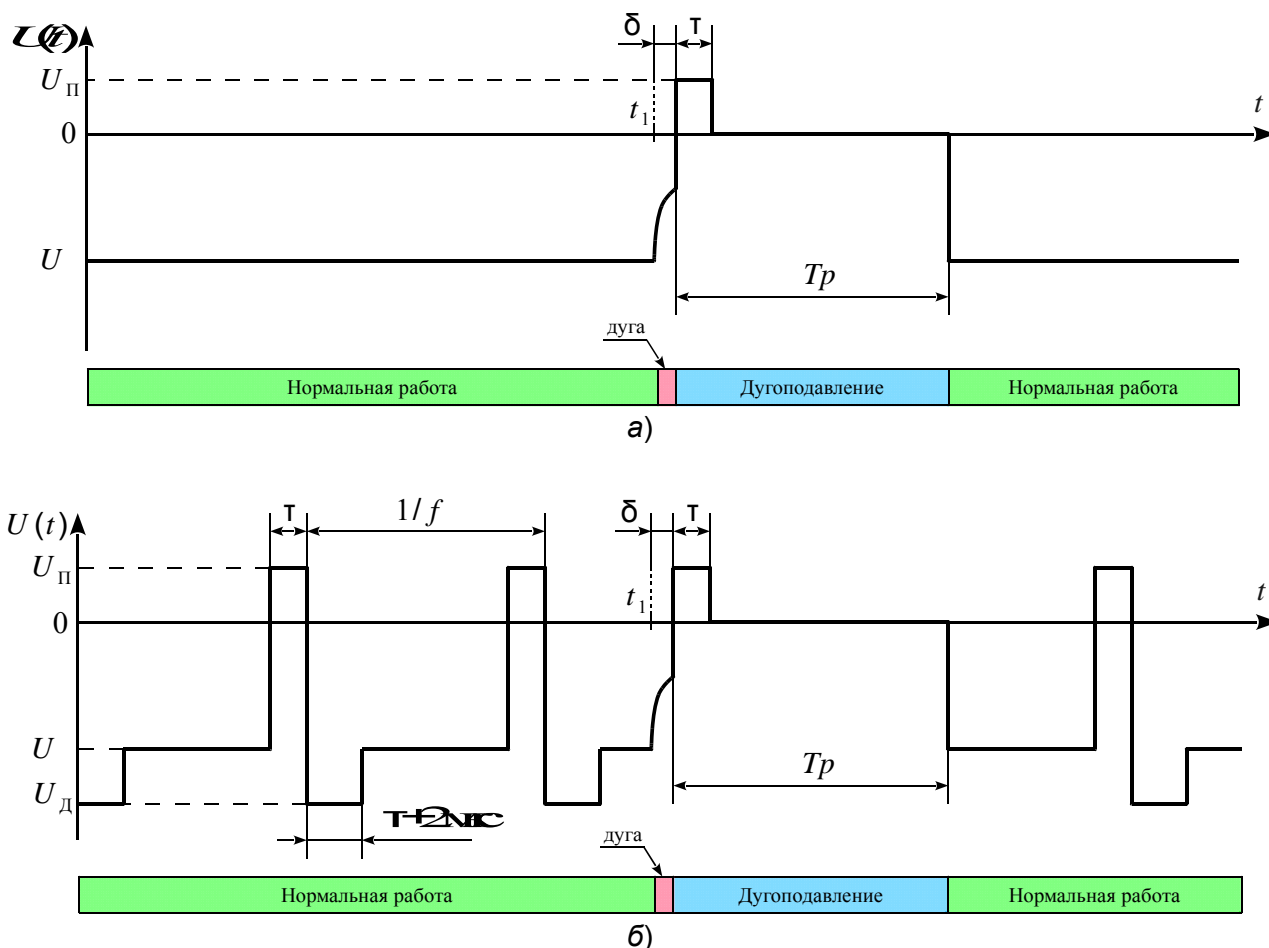


## 4 ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

APEL-M-60BP-660 принадлежит к новому поколению источников питания, в котором реализован принцип питания магнетрона биполярным импульсным током сложной формы. Модульная конструкция ИП позволяет наращивать или уменьшать мощность, делая возможной переконфигурацию APEL-M-60BP-660 в источники: APEL-M-20BP-660, APEL-M-40BP-660, APEL-M-80BP-660.

### 4.1 Биполярное питание

Независимо от режима работы APEL-M-60BP-660, его выходной ток в определенные моменты времени представляет собой импульсы сложной формы. Например, в режиме постоянного тока функцию дугоподавления выполняет импульс тока обратной полярности. В импульсном режиме работы такие импульсы появляются периодически с частотой  $f$ , предупреждая дугообразование. На рисунке 1 представлена форма напряжения на выходе ИП для разных режимов работы.



**Рис. 1** — Биполярные импульсы на выходе ИП в режиме постоянного тока(а), и в импульсном режиме (б).

Рассмотрим подробней работу ИП на постоянном токе в режиме стабилизации напряжения (см. рис. 1, а). В начальный момент времени напряжение на выходе ИП равно напряжению уставки  $U$ , заданной оператором. В момент времени  $t_1$  образу-



ется дуга, в результате чего выходное напряжение резко падает до напряжения горения дуги, а выходной ток начинает расти. Система управления детектирует дугу с некоторой задержкой  $\delta$ , и переводит источник в состояние дугоподавления в момент времени  $t_1 + \delta$ . Дугоподавление начинается с импульса напряжения обратной полярности с амплитудой  $U_{\text{п}}$ , длительностью  $\tau$  и ограниченной величиной тока. После импульса обратной полярности выход источника отключается от нагрузки на время  $T_{\text{р}} - \tau \approx T_{\text{р}}$ . По окончании паузы  $T_{\text{р}}$  ИП возвращается в нормальный режим работы, и на его выходе появляется напряжение уставки  $U$ .

Отличительными чертами импульсного режима работы (см. рис. 1, б) являются периодическое формирование импульсов обратной полярности, и наличие вольтодобавки  $U_{\text{д}}$ . Заполнение постоянной составляющей тока импульсами предупреждает образование дуг, а с ростом частоты  $f$  вероятность образования дуг значительно снижается. За счет вольтодобавки  $U_{\text{д}}$  удается получить крутой фронт тока и увеличить отдаваемую в нагрузку мощность. При образовании дуги в момент времени  $t_1$  дугоподавление происходит также, как и в режиме постоянного тока.

## 4.2 Принцип построения

В основе построения АРЕL-M-60BP-660 лежит принцип модульности. На рисунке 2 представлен состав ИП и его различные виды.

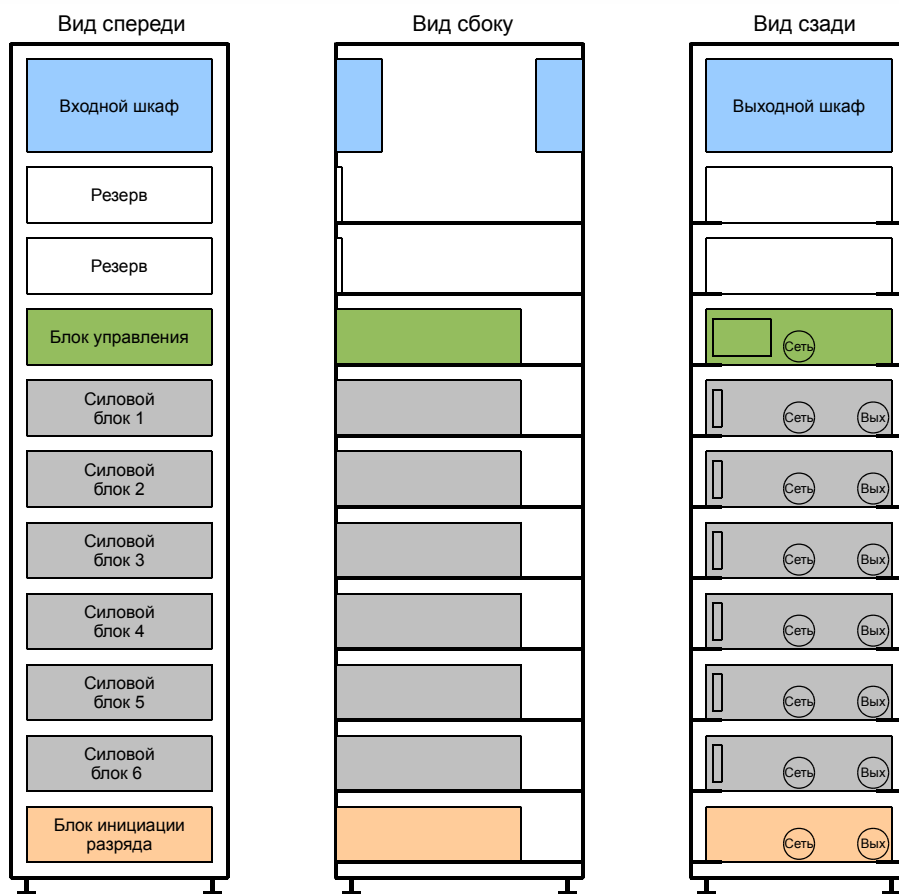


Рис. 2 — Состав источника питания APEL-M-60BP-660.

Входной шкаф имеет ввод для подключения к трехфазной сети переменного тока, автоматический выключатель, контактор и предназначен для распределения питающих напряжений в стойке.

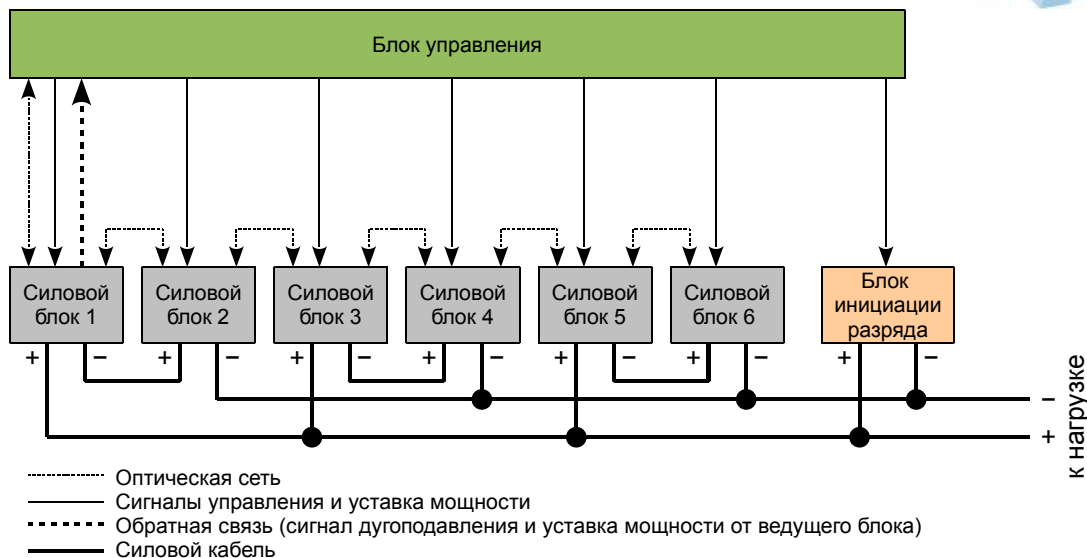
Выходной шкаф выполняет функцию организации межблочного соединения выходов силовых блоков и блока инициации разряда, а также снабжен вводом для подключения кабеля к нагрузке.

Блок управления отвечает за организацию работы всего источника питания в целом. В его функции входит управление и мониторинг силовых блоков и блока инициации разряда, обработка управляющих команд оператора и вывод информации на дисплей, прием и обработка удаленных команд по интерфейсу ModBus.

Силовые блоки представляют собой идентичные вторичные источники питания с внешним управлением.

Блок инициации разряда выполняет функцию инициации разряда магнетрона.

На рисунке 3 представлена структурная схема взаимосвязей блоков.



**Рис. 3** — Упрощенная структурная схема взаимосвязей блоков источника питания АРЕL-M-60BP-660.

Для обмена данными между блоком управления и силовыми блоками используется внутренняя оптическая сеть (см. рис. 3). С ее помощью блок управления получает информацию о текущем состоянии каждого силового блока, параметрах его работы, а также задает необходимые параметры, в соответствии с режимом работы источника.

Для того, чтобы различать силовые блоки между собой на начальном этапе загрузки управляющей программы им присваиваются адреса от 1 до 6. Блок с адресом 1 – это блок, подключенный к внутренней сети после блока управления. Блок с адресом 2 – блок, подключенный к внутренней сети после блока с адресом 1, и т. д. Блок с адресом 1 считается ведущим блоком, а все остальные блоки – подчиненными. Ведущий блок обеспечивает систему стабилизации уставкой мощности, численно равной отдаваемой им в нагрузку мощности, а также формирует сигнал обнаружения дуги. Подчиненные блоки получают уставку мощности от ведущего блока через блок управления. Таким образом реализуется принцип равномерного деления мощности между блоками. Режим стабилизации источника питания определяется режимом стабилизации ведущего блока.

Для синхронного формирования импульсов обратной полярности к каждому силовому блоку непосредственно от блока управления поступают сигналы управления ключами. При обнаружении ведущим блоком дуги в блок управления поступает сигнал, источник переходит в состояние дугоподавления. Все силовые блоки синхронно формируют импульс тока обратной полярности и отключаются от нагрузки на время паузы  $T_p$ .

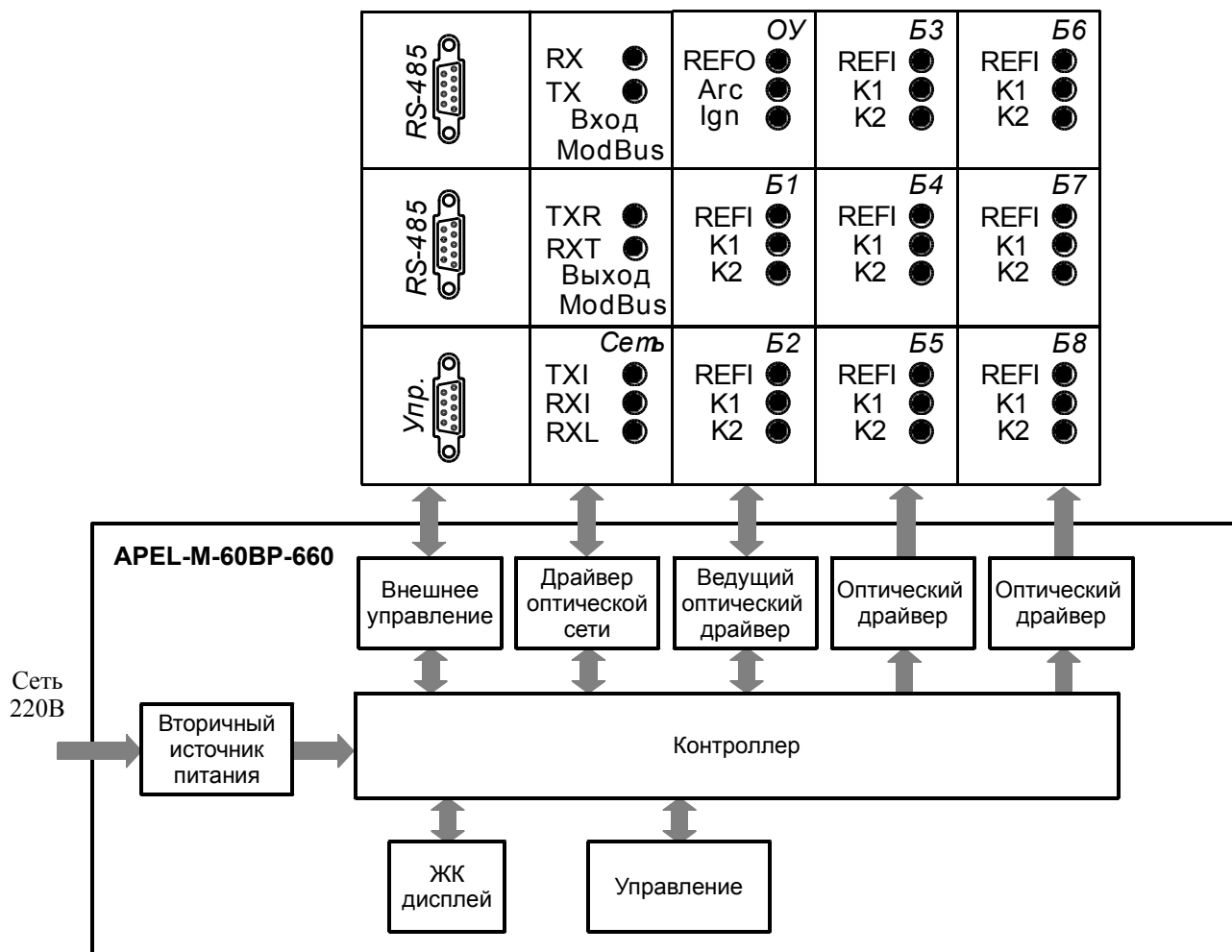
В блок инициации разряда из блока управления приходит импульсный сигнал, разрешающий или запрещающий подачу высоковольтных импульсов на магнетрон.

### 4.3 Структура блока управления АРЕL-3CU-8





Блок управления контролирует работу всего источника питания. Его структурная схема показана на рисунке 4.



**Рис. 4** — Упрощенная структурная схема блока управления APEL-3CU-8.

Главным узлом блока управления является контроллер. Его питание осуществляется от вторичного источника электропитания. Контроллер занимается приемом и обработкой управляющих команд с панели управления, а также выводом информации на ЖК-дисплей. Для внешнего управления источником питания через проводные интерфейсы предусмотрен узел внешнего управления. В его функции входит преобразование уровней и гальваническая развязка управляющих сигналов между контроллером и внешним управляющим устройством. Драйвер оптической сети осуществляет прием и передачу оптических сигналов по внутренней оптической сети источника питания, а также внешней оптической сети с протоколом ModBus. Ведущий оптический драйвер принимает и передает оптические сигналы с ведущего силового блока, а также формирует управляющие сигналы для блока инициации разряда и подчиненных силовых блоков. Оставшиеся оптические драйверы обеспечивают оптическими сигналами управления остальные подчиненные силовые блоки.



Внешний вид передней и задней панелей блока управления представлены на рисунках 5 и 6.

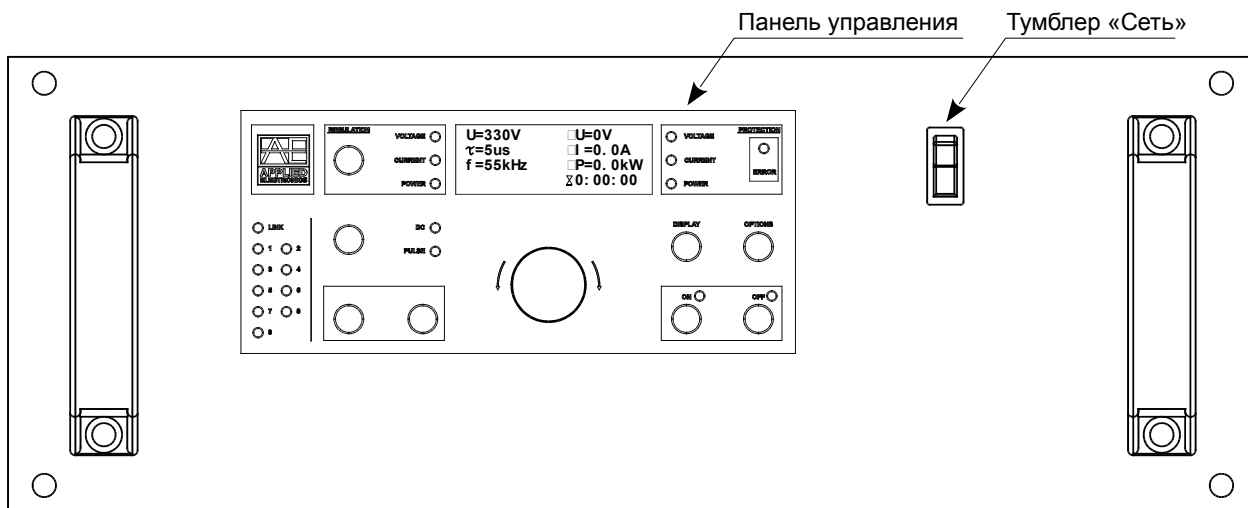


Рис. 5 — Передняя панель блока управления.

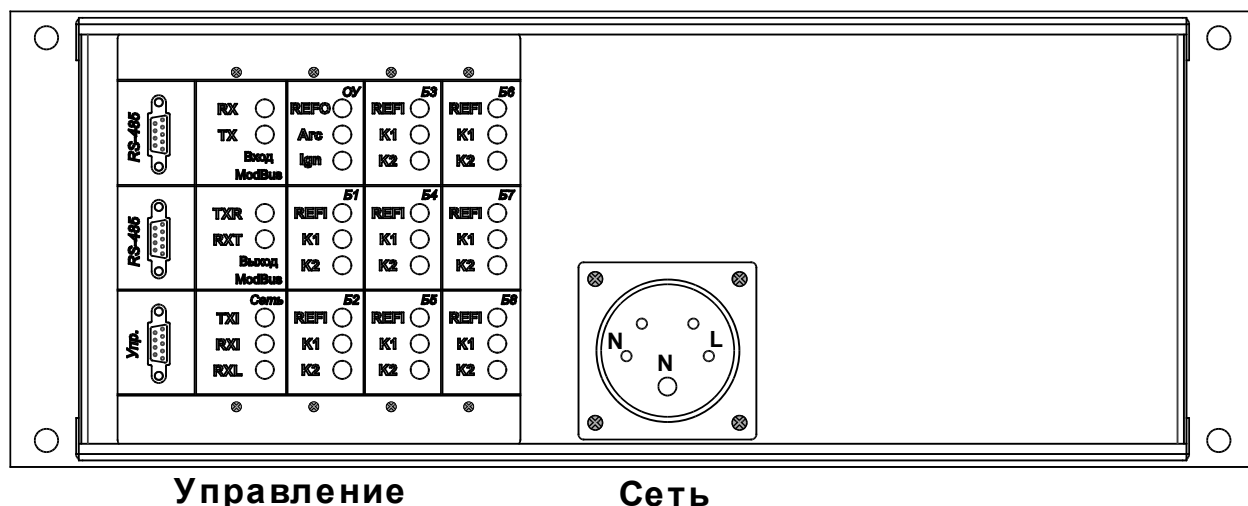


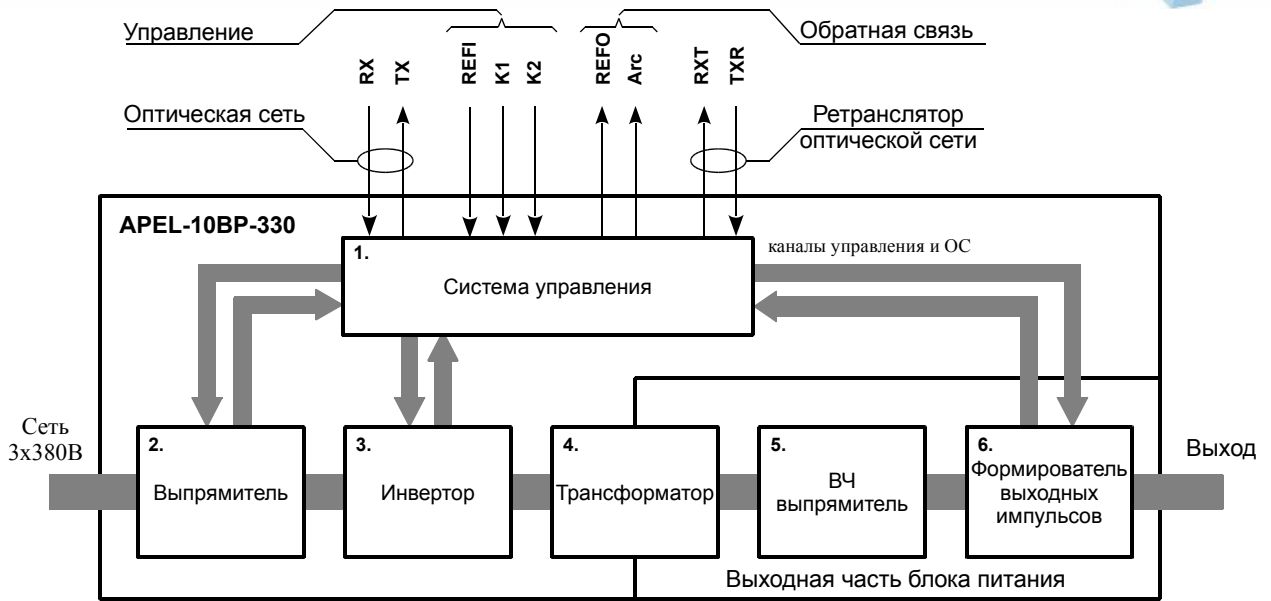
Рис. 6 — Задняя панель блока управления.

На передней панели блока управления располагается панель управления и сетевой тумблер. На задней панели находятся сетевой разъем питания ( $N$  – нейтраль,  $L$  – фаза), и оптические и проводные разъемы.

#### 4.4 Структура силового блока APEL-10BP-330

Силовой блок – это вторичный источник питания с внешним управлением, выход которого гальванически развязан и допускает параллельное и последовательное соединение с другими силовыми блоками.

На рисунке 7 представлена структурная схема универсального силового блока (СБ), который состоит из системы управления, выпрямителя, инвертора, трансформатора, высокочастотного (ВЧ) выпрямителя и формирователя выходных импульсов. Подробная схема блока представлена в **приложении 1**.



**Рис. 7** — Упрощенная структурная схема универсального силового блока.

СБ работает следующим образом. Трехфазное сетевое напряжение преобразуется выпрямителем (2) в постоянное. Далее, выпрямленное напряжение преобразуется инвертором (3) в переменное напряжение с частотой до 30 кГц. Трансформатор (4) изолирует выходную часть СБ от сети переменного тока и осуществляет передачу энергии от инвертора (4) к ВЧ выпрямителю (5). ВЧ выпрямитель (5) преобразует переменное напряжение, поступающее с трансформатора (4), в постоянное. Постоянное напряжение на выходе ВЧ выпрямителя питает формирователь выходных импульсов (6), который вырабатывает биполярное напряжение сложной формы. Система управления (1) осуществляет управление и мониторинг состояния универсального силового блока, а также осуществляет обмен данными и управляющими сигналами с головным блоком управления по оптическим линиям связи.

Внешний вид передней и задней панелей силового блока представлены на рисунках 8 и 9. На передней панели СБ располагается автоматический выключатель, сетевой тумблер и индикатор состояния. На задней панели находятся сетевой разъем питания (*N* – нейтраль, *A* – фаза *A*, *B* – фаза *B*, *C* – фаза *C*), выходной разъем и оптические разъемы внешнего управления.

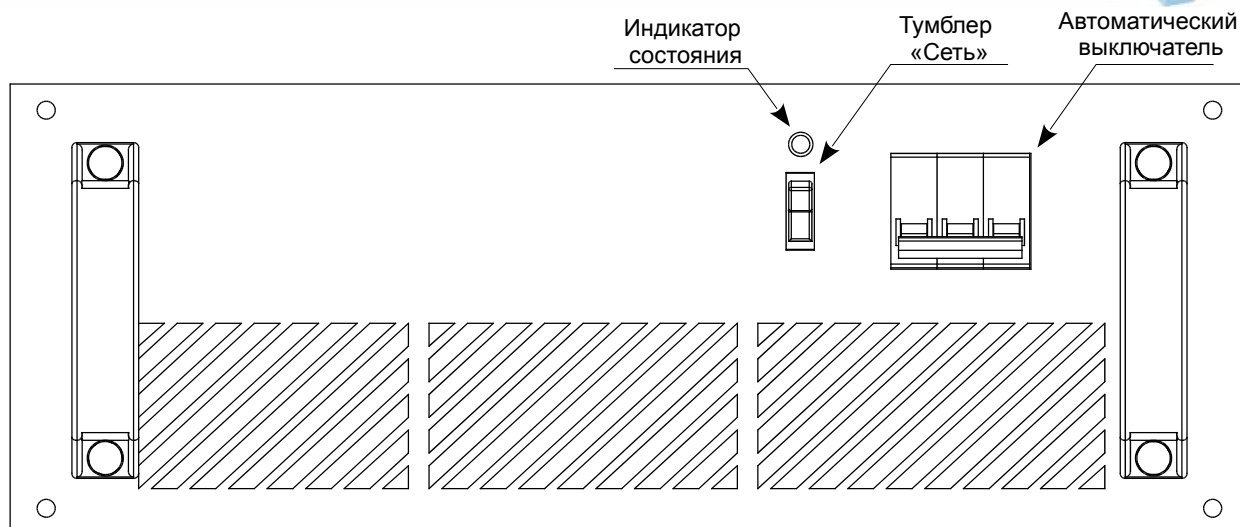


Рис. 8 — Передняя панель силового блока.

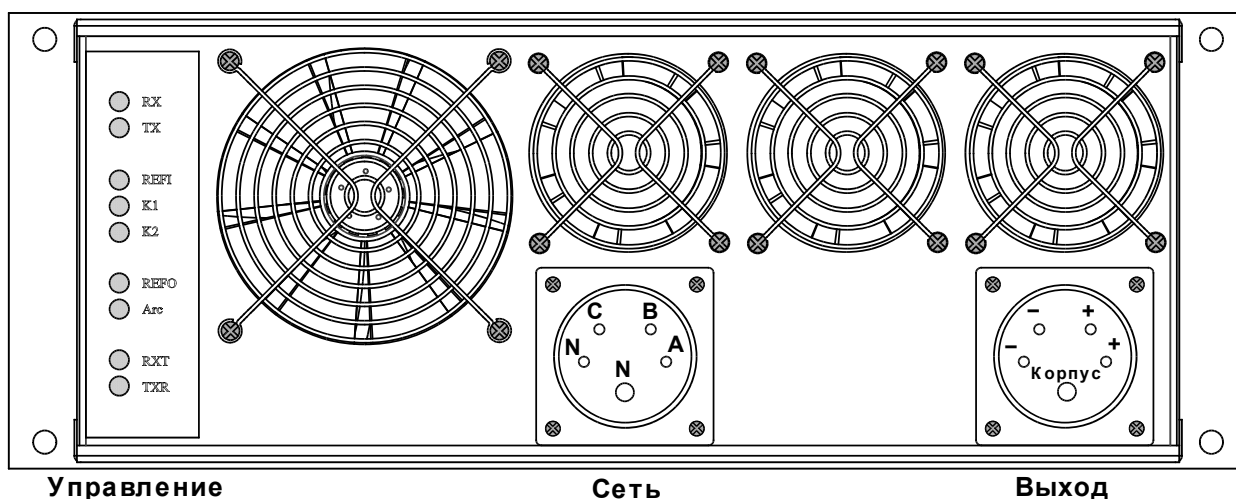


Рис. 9 — Задняя панель силового блока.

#### 4.5 Структура блока инициации разряда APCL-IG-1500

Блок инициации разряда предназначен для инициации разряда магнетора. Структурная схема блока представлена на рисунке 10. Сетевое напряжение питает два повышающих трансформатора (1) и (2). Выходное напряжение со вторичных обмоток питает формирователи выходных импульсов (3) и (4). Формирователи включены последовательно, и обеспечивают выходное напряжение поджига на уровне 1500 В. Оптический сигнал *Ign* от блока управления поступает в буфер, откуда пара идентичных оптических сигналов управляют выходными ключами формирователей (3) и (4).

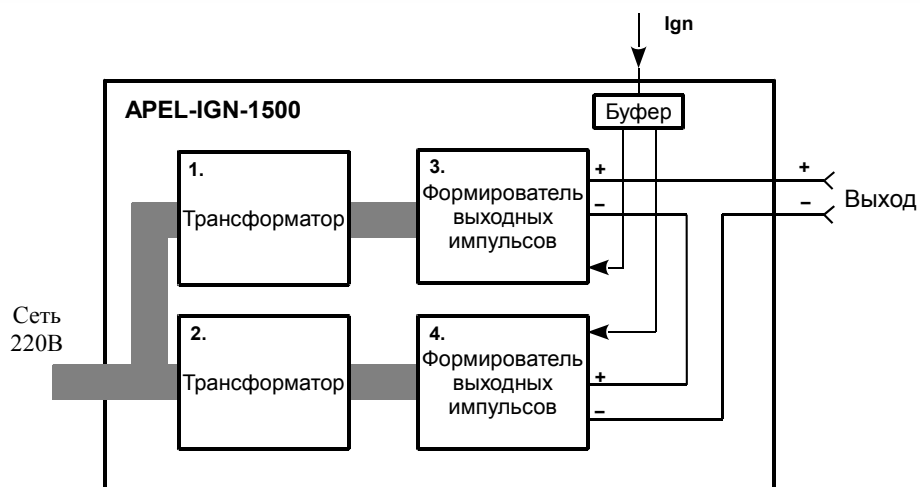


Рис. 10 — Задняя панель силового блока.

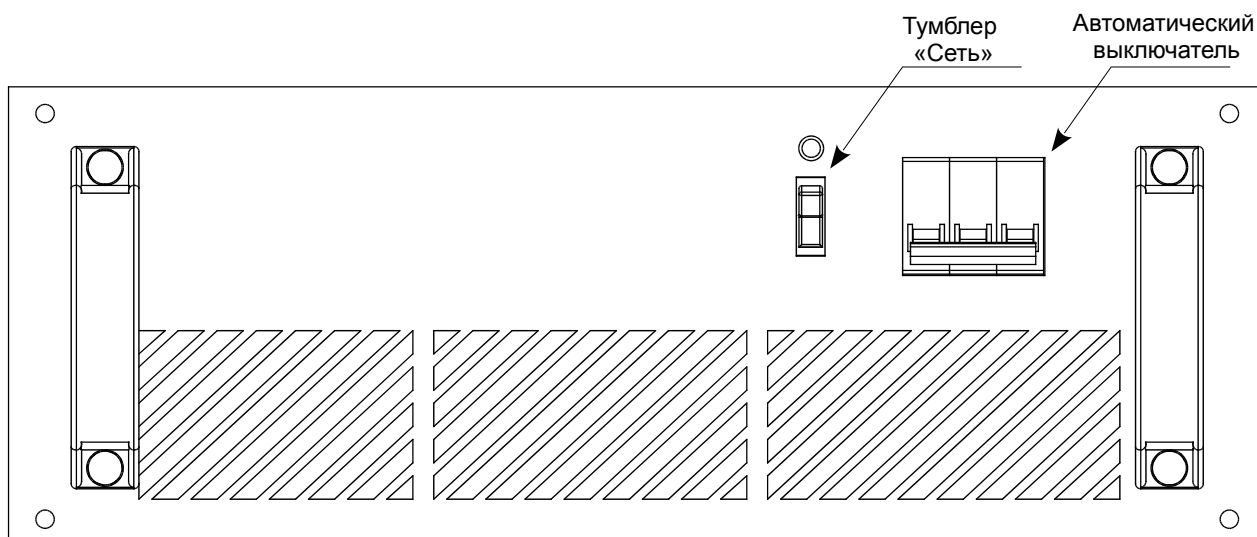


Рис. 11 — Передняя панель силового блока.

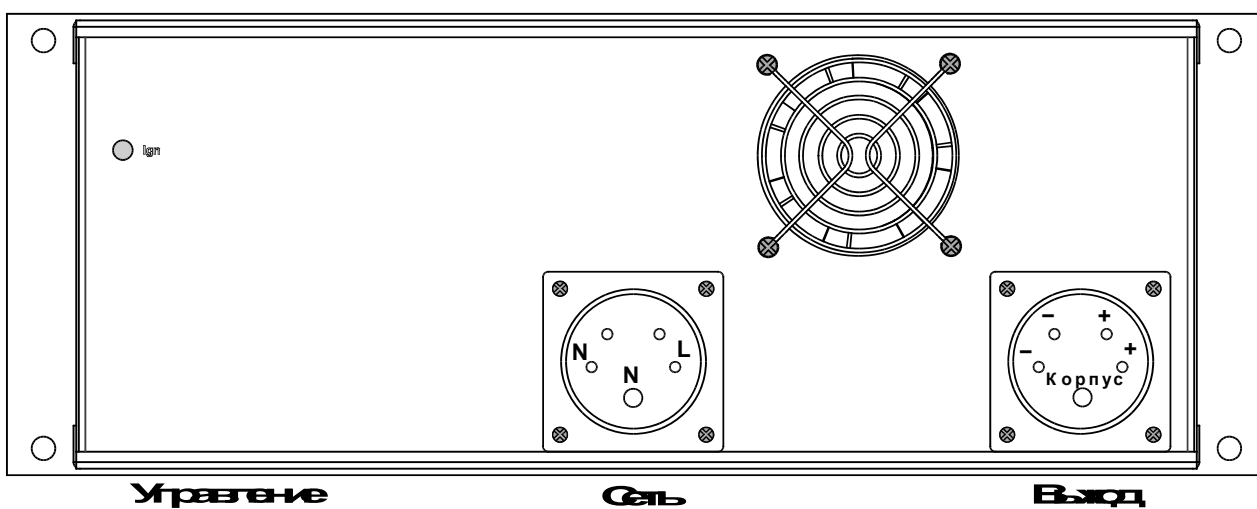


Рис. 12 — Задняя панель силового блока.



Внешний вид передней и задней панелей блока инициации разряда представлены на рисунках 11 и 12. На передней панели блока располагается автоматический выключатель и сетевой тумблер. На задней панели находятся сетевой разъем питания ( $N$  – нейтраль,  $A$  – фаза А,  $B$  – фаза В,  $C$  – фаза С), выходной разъем и оптический разъем для внешнего управления.



## 5 ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Таблица 1 – Технические характеристики источника APEL-M-60BP-660.

ПАРАМЕТР	ОБОЗНАЧЕНИЕ	ЗНАЧЕНИЕ
<b>Параметры сетевого питания</b>		
Сетевое напряжение	$U_{\text{main}}$	3x380 В
Частота	$F_{\text{main}}$	50/60 Гц
Максимальный входной ток	$I_{\text{main}}$	90 А
Максимальная потребляемая мощность		63 кВт
<b>Выходные параметры</b>		
Режимы стабилизации		напряжение $U$ , ток $I$ , мощность $P$
Выходное напряжение	$U$	10...660 В, шаг 5 В
Выходной ток	$I$	1...135 А, шаг 1 А
Выходная мощность	$P$	0.5...60.0 кВт, шаг 0.5 кВт
Режим работы		постоянный ток <b>DC</b> , импульсный <b>Pulse</b>
Частота следования импульсов	$f$	1...75 кГц, шаг 1 кГц
Длительность положительных импульсов	$\tau$	3...10 мкс, шаг 1 мкс
Амплитуда положительных импульсов	$U_{\text{п}}$	30% от выходного напряжения
Амплитуда вольтодобавки	$U_{\text{y}}$	$1.3 \times U$
<b>Параметры системы дугоподавления</b>		
Время реакции		<1мкс
Задержка дугоподавления	$Td$	0...50 мкс, шаг 1 мкс
Длительность импульса дугоподавления	$\tau$	3...10 мкс, шаг 1 мкс
Пауза	$Tp$	1...50 мс, шаг 1 мс
Максимальный выходной ток	$Im$	5...135 А, шаг 1 А
Напряжение детектирования дуги	$Ua$	50...300 В, шаг 5 В
<b>Внешнее управление</b>		
Интерфейс передачи данных		RS-485 или оптический
Протокол передачи данных		RTU ModBus
Сетевой адрес		1...247
Скорость передачи данных		от 2400 до 115200 бод
Формат кадра		8 бит данных, с возможностью контроля четности
Дискретный сигналы управления: Включение (ON)		



<b>ПАРАМЕТР</b>	<b>ОБОЗНАЧЕНИЕ</b>	<b>ЗНАЧЕНИЕ</b>
Выключение (OFF) Блокировка включения Блокировка включения из-за отсутствия воды		
<b><i>Общие характеристики</i></b>		
Индикация		ЖК-дисплей
Охлаждение		воздушное
Масса, не более		400 кг





## 6 ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВВОДУ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ

### 6.1 Распаковывание и повторное упаковывание блоков и принадлежностей

Открыть верхнюю крышку транспортного ящика, предварительно сняв стальные ленты, окантовывающие ящик, вынуть блок.

Путем внешнего осмотра убедиться в отсутствии дефектов и поломок.

При повторной упаковке блока, блок упаковать в полиэтиленовую пленку и поместить в транспортный ящик на амортизирующие прокладки из гофрокартона или пенопласта.

### 6.2 Сборка источника питания

Для сборки источника питания установить стойку и произвести ее наполнение блоками, согласно рисунку 2. После установки блоков, произвести подключение силовых кабелей к разъемам, а также оптических кабелей согласно схеме на рисунке 13.

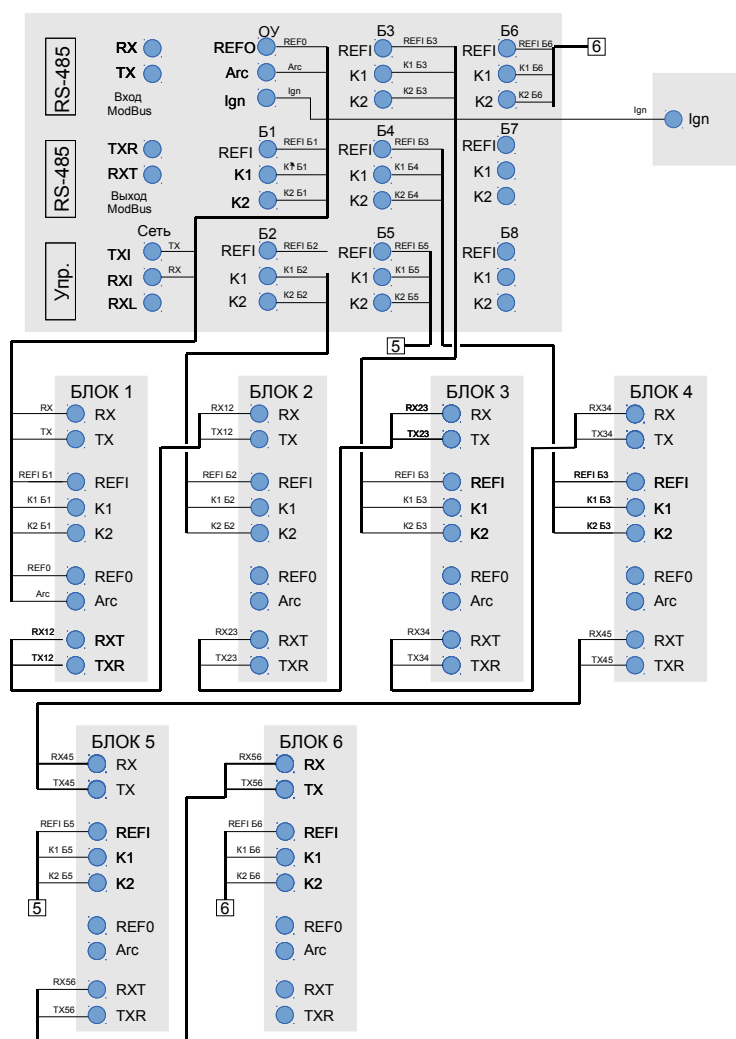


Рис. 13 — Схема оптических связей источника питания.



### **6.3 Подготовка к работе**

Перед началом работы необходимо внимательно изучить техническое описание и инструкцию по эксплуатации, а также ознакомиться с расположением и назначением органов управления и контроля на передней и задней панелях прибора (раздел 7 ).

Расположить стойку источника питания, обеспечив удобство работы и условия естественной вентиляции.



## 7 ПОРЯДОК РАБОТЫ

### 7.1 Порядок включения

1. Включить общий автоматический выключатель расположенный во входном шкафу (см. рис. 2).
2. Нажать на красную кнопку «Пуск» на панели в правой центральной части стойки, что приведет к замыканию контактора во входном шкафу и сетевое напряжение поступит в блоки стойки.
3. Установить поочередно автоматические сетевые выключатели на передней панели силовых блоков и блока инициации разряда в верхнее положение.
4. Включить сетевые тумблеры на передних панелях блоков. Включение рекомендуется производить в следующей последовательности: с интервалом не менее 3-4 секунд поочередно включить все силовые блоки, затем включить блок инициации разряда и произвести включение блока управления. При включении блока управления на ЖК-дисплее отобразится сообщение о запуске источника питания, а затем появится либо главный экран с параметрами, либо экран с сообщением об ошибке запуска/диагностики.

### 7.2 Органы управления

На рисунке 14 представлено изображение передней панели ИП. Управление осуществляется кнопками и ручкой. Назначение кнопок и индикаторов описано в таблицах 2 и 3. Алгоритм работы с экраном с помощью ручки заключается в следующих действиях:

- вращая ручку перемещаем курсор между параметрами;
- нажатием на ручку выбираем параметр (курсор замигает после нажатия);
- вращая ручку изменяем величину параметра;
- нажатием на ручку фиксируем значение параметра (курсор перестанет мигать).

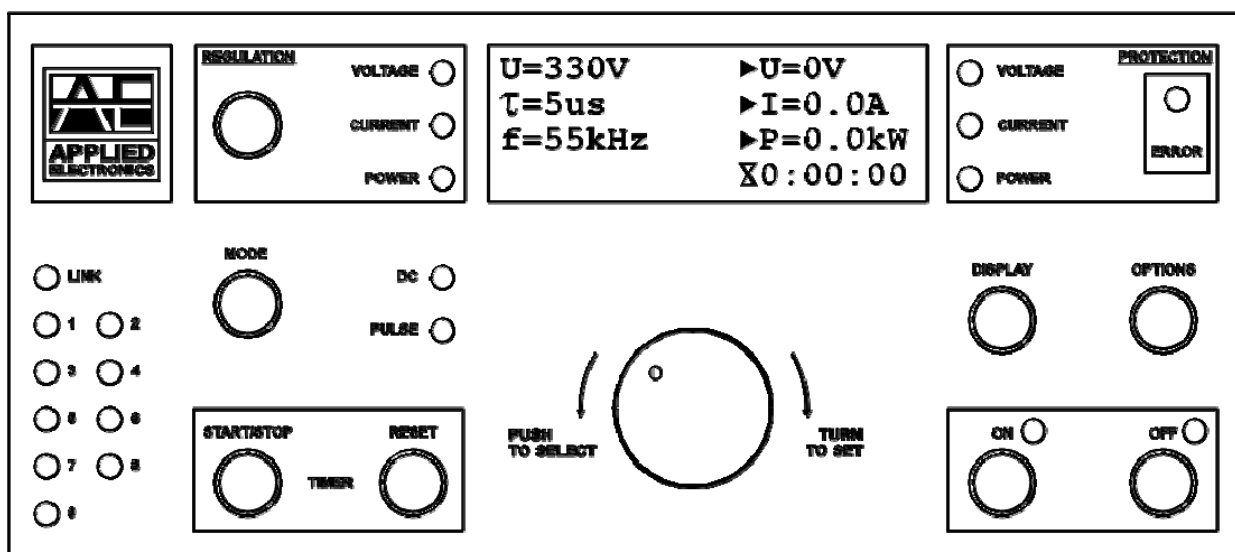


Рис. 14 — Панель управления источника питания.



**Таблица 2** — Функциональное назначение кнопок.

Кнопка	Функция
ON	Включение выхода источника на нагрузку.
OFF	Отключение выхода источника от нагрузки.
START/STOP	Запуск/Остановка таймера.
RESET	Сброс таймера.
REGULATION	Выбор режима стабилизации: напряжение, ток, мощность.
MODE	Выбор режима работы: постоянный ток (DC), импульсный режим (Pulse).
DISPLAY	Переключение набора отображаемых параметров.
OPTIONS	Дополнительные настройки.
Нажатие ручки	Вход/Выход в состояние изменения параметра.

**Таблица 3** — Функциональное назначение индикаторов.

Индикатор	Функция
ON	Выход источника включен на нагрузку.
OFF	Выход источника отключен от нагрузки.
PROTECTION.VOLTAGE	Детектирование дуги по спаду напряжения.
PROTECTION.CURRENT	Детектирование превышения порогового тока $I_m$ .
PROTECTION.POWER	Не используется.
PROTECTION.ERROR	Обнаружен сбой в работе источника.
DC	Режим постоянного тока.
Pulse	Импульсный режим.
REGULATION.VOLTAGE	Включен режим стабилизации напряжения.
REGULATION.CURRENT	Включен режим стабилизации тока.
REGULATION.POWER	Включен режим стабилизации мощности.
LINK	Идет обмен данным по протоколу ModBus.
1..9	Состояние силового блока 1..9.

### 7.3 Работа с экраном

Для отображения рабочих параметров источника питания используется ЖК-дисплей. На рисунке 15 представлена схема, поясняющая работу с экраном при помощи кнопок панели управления.

Главный экран включает в себя четыре области. В области 1 (см. рис. 15) отображается уставка стабилизируемого параметра и режим стабилизации (напряжение  $U$ , ток  $I$  или мощность  $P$ ). Нажатие кнопки «REGULATION» приводит к изменению режима стабилизации. В области 1 это вызывает смену отображаемого параметра на параметр, соответствующий текущему режиму стабилизации. Во включенном состоянии при смене режима стабилизации уставка стабилизируемого параметра берется из измеряемых значений, что позволяет не останавливать процесс.

Область 2 используется для отображения регулируемых параметров. Оператор может выбрать необходимый набор параметров (DIS1, DIS2, DIS3, DIS4) с помощью кнопки «DISPLAY».

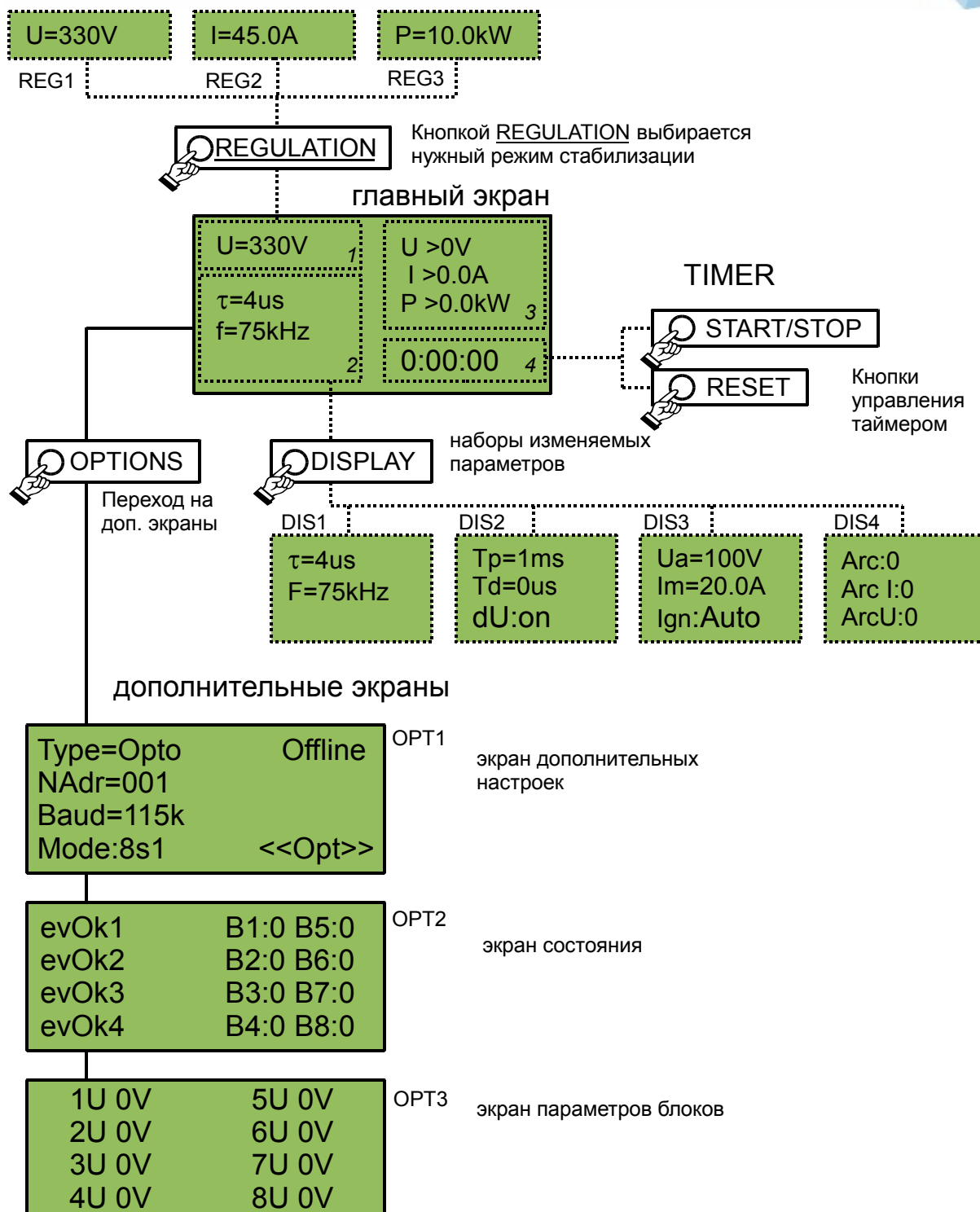


Рис. 15 — Структура меню и параметров экрана.

**DIS1:**

$\tau$  — длительность импульса положительной полярности (см. рис. 1);

$f$  — частота следования импульсов положительной полярности (см. рис. 1). Параметр отображается только в импульсном режиме работы.



## **DIS2:**

*Tp* – длительность паузы защиты после детектирования дуги (см. рис. 1);

*Td* – длительность задержки дугоподавления (см. рис. 1);

*dU* – включение/выключение детектирования дуги по падению напряжения. Включение и выключение данной функции выполняется вращением ручки, аналогично установке параметра с числовым значением.

## **DIS3:**

*Ua* – напряжение детектирования дуги;

*Im* – максимальный выходной ток;

*Ign* – переключение режимов работы блока инициации разряда (OFF/ON/Auto). Режим работы блока инициации разряда устанавливается путем вращения ручки, аналогично установке параметра с числовым значением.

## **DIS4:**

*Arc* – общий счетчик дуг (сброс нажатием на ручку);

*Arc I* – счетчик дуг детектированных по току (сброс нажатием на ручку);

*Arc U* – счетчик дуг детектированных по напряжению (сброс нажатием на ручку).

В области 3 главного экрана отображаются текущие выходные параметры (напряжение, ток, мощность), а в области 4 – таймер.

Переход на дополнительные экраны осуществляется с помощью кнопки «OPTIONS».

## **Экран дополнительных настроек (OPT1):**

*Type* – способ подключения к сети по протоколу ModBus: *Opto* – оптическая сеть без ретрансляции на другой блок, *OptoRet* – оптическая сеть с включенной ретрансляцией, *RS485* – проводная сеть с интерфейсом RS-485.

*NAdr* – сетевой адрес подчиненного по протоколу ModBus: 1...247.

*Baud* – скорость передачи данных по протоколу ModBus, бод: 2400, 4800, 9600, 14400, 19200, 28800, 38400, 57600, 76800, 115k.

*Mode* – формат кадра данных по протоколу ModBus: *8s1* – 8-бит данных и один стоповый бит; *8s2* – 8-бит данных и два стоповых бита; *8s1odd* – 8-бит данных, один бит контроля четности (нечетный) и один стоповый бит; *8s1evn* – 8-бит данных, один бит контроля четности (четный) и один стоповый бит.

*Offline (Badline, LineOk, ConnOk)* – индикатор состояния сети: *Offline* – обмен данным не обнаружен; *Badline* – обнаружен обмен данными, но задана неверная скорость, неверный формат кадра или протокол передачи не соответствуют протоколу ModBus; *LineOk* – идет обмен данными по протоколу ModBus с другими



подчиненными устройствами (скорость передачи и формат кадра в норме); *ConnOk* – идет обмен данными по протоколу ModBus.

### Экран состояния (OPT2):

В левой части экрана состояния находится журнал ошибок (*evOk1...evOk4*). Журнал заполняется сверху вниз, вытесняя предыдущие события:

- evOk1... evOk4* – состояния нормальной работы пустого журнала.
- evBadConf* – произошла ошибка топологии. Количество обнаруженных силовых блоков отличается от заданного.
- evBILost* – была утрачена связь с одним из силовых блоков.
- evBIIOWErr* – в одном из силовых блоков произошла внутренняя ошибка.
- evOvheat* – в одном из силовых блоков обнаружен перегрев элементов.
- evLoadBlk* – источник питания заблокирован для включения на нагрузку из вне другим источником питания. Действительно только для специальной схемы объединения пары источников питания для работы на одну нагрузку.
- evNoWater* – сработала блокировка по воде.
- evIOError* – произошла ошибка ввода-вывода внутри блока управления.
- evEEPROM* – повреждены настройки источника питания.

Журнал ошибок полезен в тех случаях, когда сбой не является перманентным, и происходит самопроизвольное выключение источника питания.

В правой части экрана состояния находится таблица состояния силовых блоков *B1...B8*. Она отражает коды ошибок в каждом из силовых блоков. Ошибкой считается любое число, кроме нуля. Для ознакомления с кодами см. приложение 1.

### Экран параметров блоков (OPT3):

Экран параметров блоков отражает внутренние параметры силовых блоков: *U* – напряжение на зарядных емкостях, *I* – выходной ток блока, *P* – выходная мощность блока, *TK1* – температура ключа 1, *TK2* – температура ключа 2, *TK3* – температура ключа 3, *TK4* – температура ключа зарядки, *T11* – температура элементов инвертора, *T12* – температура элементов ВЧ выпрямителя, *TR* – температура токоограничивающего сопротивления. Для смены типа отображаемого параметра необходимо нажать на кнопку «DISPLAY». Основное назначение экрана – анализ исправности силовых блоков.

## 7.4 Система дугоподавления и ее настройка

Ключевым параметром, определяющим негативное влияние дуги на свойства покрытий является величина энергии, вложенной в дуговой разряд. В свою очередь величина этой энергии зависит от времени реакции системы. Источник питания имеет два способа детектирования дуги: по току (защита срабатывает, когда ток достигает некоторого порогового значения  $I_m$ ), и по напряжению (защита срабатывает, когда напряжение разряда падает ниже порогового значения  $U_a$ ). На рисунке 16 изображены эпюры напряжения и тока, соответствующие работе системы дугоподавления в различных режимах.

**Детектирование дуги по падению напряжения** (см. рис. 16, ось абсцисс, интервал  $[0, C]$ ). На интервале  $[0, A)$  идет процесс нормальной работы. В момент  $A$  возникает



дуга, что приводит к падению напряжения разряда до уровня  $U_{arc}$  (напряжение горения дуги). На интервале  $[A, B]$  система управления детектирует падение напряжения ниже уровня  $U_a$ , заданного оператором, и в момент  $B$  подает на магнетрон импульс тока положительной полярности, и на интервале  $[B, C]$  дуга гаснет. Длительность интервала  $[A, B]$  характеризует время реакции системы дугоподавления, составляющее менее 1 мкс. Столь короткое время реакции позволяет минимизировать энергию, вкладываемую в дуговой разряд.

Работая в этом режиме необходимо помнить, что уровень напряжения детектирования  $U_a$  должен быть выше напряжения горения дуги, и как можно ниже рабочего напряжения. Это позволит предотвратить ложные срабатывания системы дугоподавления. Стоит отметить, что выходное напряжение источника должно сначала достигнуть уровня напряжения большего, чем  $U_a$ . В противном случае детектирование дуги по падению напряжения производиться не будет.

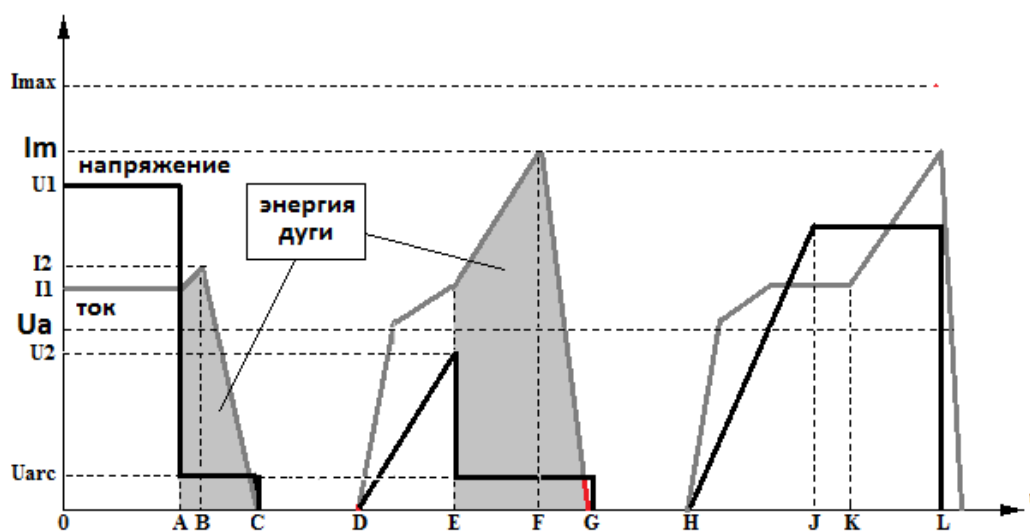


Рис. 16 — Схема детектирования дуги в различных режимах.

**Детектирование дуги по превышению тока** (см. рис. 16, интервал  $[D, G]$ ). В момент времени  $D$  источник питания включается, и на магнетроне начинает расти напряжение и ток. В момент времени  $E$  возникает дуга. Так как выходное напряжение еще не достигло уровня  $U_a$ , следовательно, детектирование дуги по падению напряжения производиться не будет. На интервале  $[E, F]$  ток продолжает расти, и в момент времени  $F$  достигнет максимального значения  $I_m$ , установленного оператором. После этого система дугоподавления подает на магнетрон импульс тока положительной полярности, и дуга гасится на интервале  $[F, G]$ .

Максимальный ток  $I_m$  следует устанавливать на 10-20% больше, чем рабочий ток. Это уменьшит энергию, вкладываемую в дугу. В режиме тренировки или очистки поверхности максимальный ток  $I_m$  рекомендуется увеличить до максимума.

**Превышение предельного тока без возникновения дуги** (см. рис. 16, интервал  $[H, L]$ ). Такой случай возможен, например, при резком увеличении давления в камере. Он характеризуется тем, что напряжение на магнетроне остается постоянным, а ток начинает увеличиваться. В момент времени  $H$  источник питания включается, и на





магнетроне начинает расти напряжение и ток. На интервале  $[J, K]$  идет нормальная работ. В момент времени  $K$  резко поднимается давление, и ток магнетрона начинает расти. Напряжение горения разряда при этом не изменяется. На интервале  $[K, L]$  ток продолжает расти, и в момент времени  $L$  выходной ток достигает максимального значения  $I_m$ . После этого система дугоподавления подает на магнетрон импульс тока положительной полярности, и отключается от нагрузки на время  $T_r$ .

### **Задержка дугоподавления $T_d$**

В определенных режимах работы необходима дополнительная задержка дугоподавления  $T_d$ . Некоторые дуги имеют тенденцию повторяться пока не будут устранены причины их возникновения. В этих случаях целесообразно позволить дуге длиться некоторое время, чтобы она самоустранилась. Если  $T_d > 0$ , то при образовании дуги источник питания обеспечивает дуговой разряд постоянным током на протяжении всего времени задержки дугоподавления  $T_d$ .

Для каждого материала и газа существует оптимальное время задержки с точки зрения стабильности процесса напыления, поэтому она может меняться оператором в диапазоне от 0 до 50 мкс. Задержка дугоподавления полезна в режимах тренировки или очистки поверхности. Однако в случаях, когда наиболее важно исключить появление дефектов в пленке, вызванных локальными энергетичными воздействиями, время задержки нельзя увеличивать.

### **Импульс дугоподавления**

В случае детектирования дуги на выходе источника питания формируется положительный импульс тока. Он подавляет дугу и рассеивает носители заряда. В процессе реактивного напыления положительный импульс снимает заряд, накопленный на поверхности диэлектрика. Ток дугоподавляющего импульса ограничен по величине. Его длительность регулируется от 3 до 10 мкс, в зависимости от особенностей процесса.

### **Длительность отключения $T_r$ после возникновения дуги**

При дугоподавлении, после положительного импульса тока следует отключение от нагрузки на время  $T_r$ . Данная мера способствует безопасному повторному включению источника питания. С ростом  $T_r$  уменьшается вероятность повторного возникновения дуги. При нереактивных процессах напыления возможно отключение на десятки миллисекунд. Однако, в реактивном процессе напыления длительность отключения после возникновения дуги не может быть большой, так как она влияет на стабильность процесса. Чем больше время отключения, тем дольше будут возвращаться параметры к первоначальным величинам. Чтобы не вызвать неконтролируемые изменения свойств пленки и не вывести процесс из заданной рабочей точки в режим полностью покрытой диэлектриком поверхности в реактивном режиме следует установить минимальную длительность отключения после дуги, т. е. 1мс.



## 7.5 Инициация разряда магнетрона

Инициация разряда магнетрона осуществляется блоком инициации разряда. Инициация необходима для возникновения первичного разряда, который перейдет в основной разряд за счет энергии, поступающей из силовых блоков.

Для включения импульсов инициации разряда необходимо с помощью кнопки «DISPLAY» выбрать набор параметров DIS3, после чего, вращая ручку переместить курсор на параметр *Ign*. Далее, нажать на ручку и выбрать нужный режим работы блока инициации разряда вращением.

Блок инициации разряда имеет три режима:

1. OFF – выключен.
2. ON – периодический режим (амплитуда напряжения 1500 В, максимальный ток 5 А, длительность 50 мс, период 5 с).
3. Auto – автоматический режим (формирует поджигающий импульс, если выходной ток становится менее 3 А)

## 7.6 Работа в режиме постоянного тока

## 7.7 Работа в импульсном режиме



## 8 АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИСТОЧНИКОМ ПИТАНИЯ

### 8.1 Управление по протоколу ModBus

Для управления источником питания APEL-M-60BP-660 используется протокол передачи данных ModBus RTU в полудуплексном режиме. Блок управления имеет оптический вход *RX* и выход *TX*. При организации оптической магистрали используются ретрансляторы *RXT* и *TXR*. Переход с оптического интерфейса на интерфейс RS-485 осуществляется специализированным преобразователем интерфейса. Параметры протокол передачи данных RTU ModBus могут быть настроены (см. таблицу 4). Регистры и флаги для управления источником питания по протоколу ModBus приведены в таблице 5.




 RS-485	RX ○ TX ○ Вход ModBus			
 RS-485	TXR ○ RXT ○ Выход ModBus			
 Упр.				

Рис. 17 – Разъемы на задней панели блока управления для подключения внешнего управления.

Таблица 4 – Параметры настройки протокола передачи данных ModBus.

Параметр	Значения
Сетевой адрес	1...247
Скорость передачи, бод	1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 76800, 115200
Режим передачи	8 бит и 1 стоповый бит 8 бит и 2 стоповых бита 8 бит, бит нечетности и 1 стоповый бит 8 бит, бит четности и 1 стоповый бит

Таблица 5 – Параметры магнетронного источника питания.

Имя регистра	Описание	Адрес	Тип	Единицы	Шаг	Диапазон значений
<b>Регистры флагов (Чтение и запись. Поддерживаются функции: F1, F5)</b>						
Coil_ONOFF	Вкл./Выкл. источника	1	b1	—	—	0 — выкл. 1 — вкл.



Имя регистра	Описание	Адрес	Тип	Единицы	Шаг	Диапазон значений
<b>Регистры ввода (Только чтение. Поддерживаются функции: F4)</b>						
Reg_State	Состояние источника	0 (0x00)	ui16	—	—	0 — нормальная работа; 1 — ошибка ввода-вывода; 2 — ошибка загрузки настроек; 3 — ошибка топологии; 4 — ошибка связи с блоком; 5 — ошибка диагностики; 6 — перегрев; 7 — блокировка.
Reg_PanelState	Состояние панели управления	1 (0x01)	b16	—	—	бит 0 — светодиод OFF; бит 1 — светодиод ON; бит 2 — светодиод DC; бит 3 — светодиод PULSE; бит 4 — светодиод REG U; бит 5 — светодиод REG I; бит 6 — светодиод REG P; бит 7 — светодиод PROT Voltage; бит 8 — светодиод PROT Current; бит 9 — светодиод PROT Power. бит 10 — светодиод Error.
Reg_Voltage	Выходное напряжение	2 (0x02)	ui16	В	—	0..660*
Reg_Current	Выходной ток	3 (0x03)	ui16	А	—	0..135*
Reg_Power	Выходная мощность	4 (0x04)	uf116	кВт	—	0.0..60.0*
<b>Регистры хранения (Чтение и запись. Поддерживаются функции: F3, F6, F16)</b>						
Reg_RefVoltage	Уставка напряжения	16 (0x10)	ui16	В	1	10..660
Reg_RefCurrent	Уставка тока	17 (0x11)	ui16	А	1	5..135
Reg_RefPower	Уставка мощности	18 (0x12)	uf116	кВт	0.1	0.5..60.0
Reg_RefFreq	Уставка частоты переполаривания	19 (0x13)	ui16	кГц	1	1..75
Reg_RefTau	Уставка длительности переполаривания	20 (0x14)	ui16	мкс	1	3..10
Reg_RefT	Уставка длительности паузы защиты	21 (0x15)	ui16	мс	1	1..50
Reg_RefTD	Уставка длительности задержки срабатывания дугозащиты	22 (0x16)	ui16	мкс	1	0..50
Reg_RefProtU	Уставка защиты по спаду напряжения	23 (0x17)	ui16	В	1	50..300
Reg_RefProtI	Уставка защиты по току	24 (0x18)	ui16	А	1	10..135
Reg_ProtMode	Режим защиты по спаду напряжения	25 (0x19)	ui16	—	—	0 — выкл. 1 — вкл.
Reg_StabMode	Режим стабилизации	26 (0x1A)	ui16	—	—	0 — стаб. напряжения 1 — стаб. тока 2 — стаб. мощности
Reg_Mode	Режим работы	27 (0x1B)	ui16	—	—	0 — режим пост. тока 1 — частотный режим
Reg_IgnMode	Инициация газового разряда (поджиг)	28 (0x1C)	ui16	—	—	0 — выкл. 1 — вкл.
Reg_ArcCount	Счетчик дуг	29 (0x1D)	ui16	—	—	0..65535
Reg_ArcCountU	Счетчик дуг по спаду напряжения	30 (0x1E)	ui16	—	—	0..65535



Имя регистра	Описание	Адрес	Тип	Единицы	Шаг	Диапазон значений
Reg_ArcCountI	Счетчик дуг по току	31 (0x1F)	ui16	—	—	0...65535

**Примечание:** формат типа имеет следующую расшифровку: u/s — беззнаковый/знаковый формат; b — битовое поле; i/fn — целое число/число с фиксированной точкой, где n — количество знаков после запятой (1..5); 1/16 — 1 или 16 бит. Примеры: ui16 — беззнаковое целое число разрядностью 16 бит, uf16 — беззнаковое число с фиксированной точкой 0.0 разрядностью 16 бит.

\* — значение приведено для справки. В процессе работы параметр может выходить за указанные границы.

## 8.2 Управление дискретными сигналами

### 8.3 Рекомендуемая логика управления

Запись и чтение регистров управления источников питания может производиться в любой последовательности. Однако стоит принять во внимание, что параметры управления должны лежать в заданном диапазоне значений и попадать в шаг сетки. При попытке записи параметра управления, величина которого не соответствует диапазону значений или не попадает в сетку, возникнет стандартная ошибка с кодом 3.

Параметры, формат которых определен как число с фиксированной точкой, читаются и записываются как целые числа, а для перевода в вещественное число необходимо произвести деление на 10 в степени, указанной в формате. Например, если чтение регистра с форматом uf16 возвращает число 129, то для перевода этого числа в вещественное необходимо  $129/10^1$ , что даст число 12,9.

Управление источником и его мониторинг осуществляется стандартными функциями: *F1, F3, F4, F5, F6, F16*. Особое внимание стоит уделить регистру состояния Reg\_State. Этот регистр отражает текущее состояние источника питания. Во время нормальной работы его значение равно нулю. Ниже представлена вариант последовательности работы с источником питания.

1) Считываем состояние и показания датчиков источника питания (Все или необходимые)

F4 (Reg\_State, Reg\_PanelState ...Reg\_Power)

2) Считываем состояние параметров управления (Все, или необходимые. Чтение параметров управления необходимо, если требуется отражение их текущего состояния, т.к. они могут изменяться с панели управления источника питания независимо от системы автоматизированного управления.)

F3 (Reg\_RefVoltage, Reg\_RefCurrent ... Reg\_ArcCountI)

3) Настройка режима

F6 (Reg\_StabMode, 0) // режим стабилизации по напряжению

F6 (Reg\_RefVoltage, 250) // уставка напряжения 250 В



F16 (Reg\_ArcCount ... Reg\_ArcCountI, 0, 0, 0) // сбрасываем счетчики дуг

4) Включаем источник питания

F5 (Coil\_ONOFF, 1) // Вкл.

5) Изменяем параметры управления в процессе работы источника

F6 (Reg\_RefCurrent, 20) // уставка тока 20 А

F6 (Reg\_StabMode, 1) // включаем режим стабилизации по току

...



## 9 УСТРАНЕНИЕ НЕПОЛАДК

### 10

#### Описание работы защит.

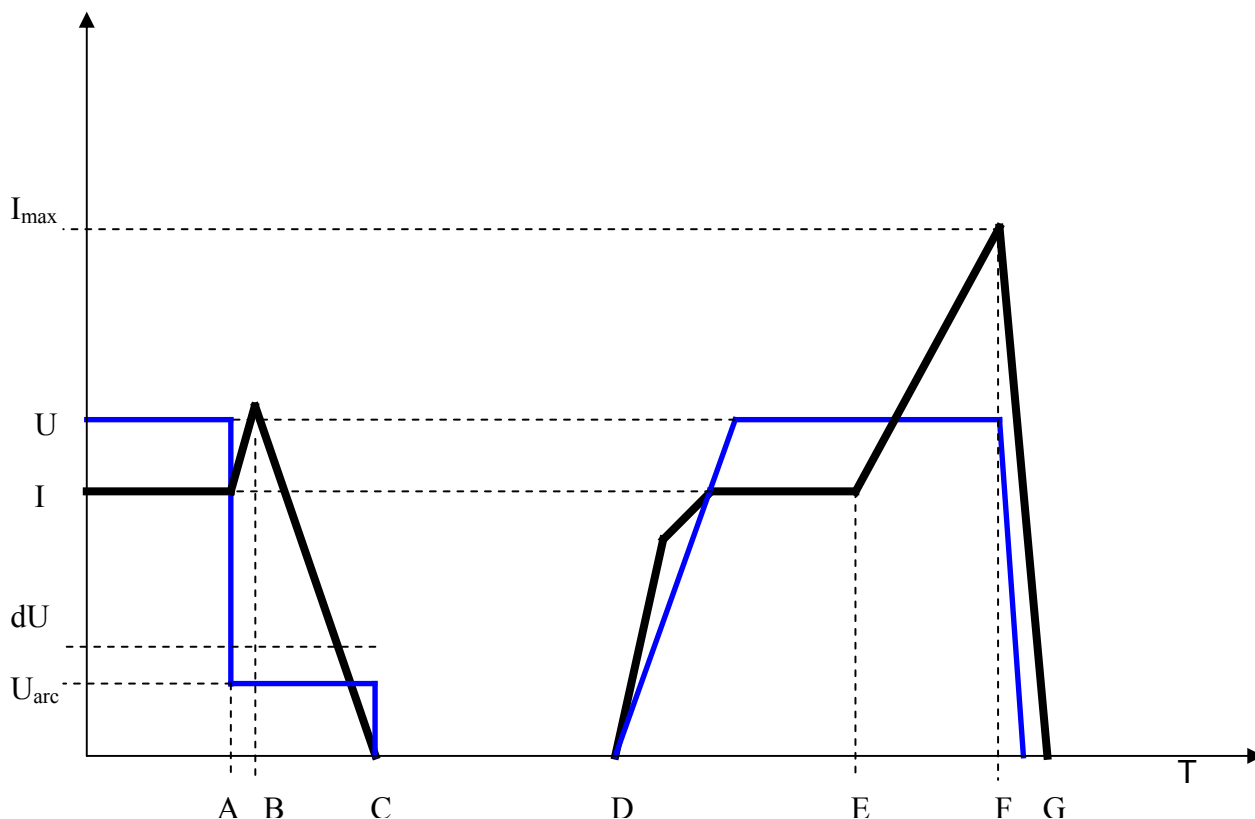


Рис. 6 Диаграмма работы защит

В начальный момент диаграммы на выходе источника формируется напряжение  $U$ , при этом ток, протекающий в нагрузке равен  $I$ .

**A** - загорается дуга, при этом происходит спад напряжения до напряжения горения дуги  $U_{arc}$ , при падении напряжения ниже установленного уровня  $dU$ , срабатывает защита

**A - B**: время за которое дуга детектируется

**B**: происходит отключение

**B - C**: время спада тока после отключения, за это время дуга горит

**C - D**: пауза после срабатывания защиты

**D - E**: повторное включение источника и выход на прежние установленные параметры

**E**: изменение нагрузки, при котором ток растет до  $I_{max}$  (установленный ток срабатывания защиты)

**E - F**: время детектирования

**F**: отключение

**F - G**: время спада после отключения



## **11 ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ**

Профилактические работы должны проводиться не реже 1 раза в год.

Для обеспечения работоспособности прибора в течение срока его эксплуатации необходимо проводить следующие работы:

а) осмотр внешнего состояния прибора:

- проверить крепления органов управления и регулировки, плавности их действия и четкости фиксации;

- проверить комплектность прибора;

- проверить состояние лакокрасочных и гальванических покрытий;

б) осмотр внутреннего состояния прибора:

- проверить состояние монтажа и узлов после истечения гарантийного срока.

- проверить крепление узлов, состояние паяк, удаляется грязь и коррозия.

*Примечание: пыль из ИП рекомендуется удалять с помощью бытового пылесоса.*

## **12 ПРАВИЛА ХРАНЕНИЯ**

ИП, прибывшие заказчику для длительного хранения, рекомендуется содержать в транспортировочном ящике в капитальных отапливаемых помещениях с температурой окружающего воздуха от 5 до 30<sup>0</sup>С при относительной влажности до 85 %.

В помещениях для хранения не должно быть пыли, паров кислот и щелочей, вызывающих коррозию.

При вводе в эксплуатацию необходимо освободить прибор от упаковки и выдержать в нормальных условиях в течение не менее одного часа.

## **13 ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ**

Транспортирование ИП потребителю в транспортной таре может осуществляться всеми видами транспорта без принятия дополнительных мер при температуре окружающего воздуха от минус 50 до плюс 50<sup>0</sup>С.

В процессе транспортирования должна быть предусмотрена защита прибора от попадания атмосферных осадков и пыли.

Не допускается кантование прибора.

## **14 ГАРАНТИИ ИЗГОТОВИТЕЛЯ.**

Изготовитель гарантирует соответствие изделия «ИП АРЕL-M-60BP-660» требованиям технической документации при соблюдении Потребителем условий и правил эксплуатации, приведенных в настоящем руководстве пользователя.





Установленный срок гарантии на изделие – 2 года. Начало гарантийного срока исчисляется с момента пуска ИП в эксплуатацию у потребителя, но не позднее 18 месяцев с момента отгрузки.

Изготовитель обязуется в течение гарантийного срока безвозмездно устранять неисправности, возникшие по вине Изготовителя. Гарантийные обязательства не распространяются на неисправности, возникшие не по вине Изготовителя, а вследствие неверного транспортирования, хранения, нарушения условий эксплуатации, изложенных в настоящем руководстве пользователя.

### 15 ДАННЫЕ ПРОВЕРОК УСТРОЙСТВА

№	Тип проверки	Полученные данные	Дата проверки	ФИО Проводившего проверку	Подпись
1	Соответствие выходного напряжения данным на ЖК-дисплее				
2	Соответствие выходного тока данным на ЖК-дисплее				
3	Соответствие выходной мощности данным на ЖК-дисплее				

### 16 СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПРИЕМКЕ

ИП APEL-HV-60BP, заводской номер \_\_\_\_\_ соответствует комплекту конструкторской документации XXXXXXXX.04.00.00.00 ИП APEL-HV-60BP и признан годным для эксплуатации.

Дата выпуска «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 200 г.

Подпись \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /

### 17 СВЕДЕНИЯ О РЕКЛАМАЦИЯХ

В случае отказа ИП APEL-HV-60BP в период гарантийного срока необходимо составить технически обоснованный акт и направить его в адрес Изготовителя. К акту необходимо приложить копии протоколов проведенных проверок и профилактических осмотров устройства.



## 18 ДАННЫЕ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ УСТРОЙСТВА

Дата ввода в эксплуатацию	Наработка, час	Дата обнаружения дефекта	Характерные признаки дефекта, действия пользователя, результаты указанных действий

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1 КОДЫ ОШИБОК СИЛОВОГО БЛОКА

Код	Описание ошибки	Момент обнаружения	Условия	Причины
0	Штатная работа			
1	Ошибка ввода-вывода при работе с ПЛИС	постоянно		Отказ ПЛИС, программирование ПЛИС
2	Ошибка чтения настроек из ЭППЗУ	диагностика		
3	Ошибка коммутации ключей K1, K2	постоянно	Только во включенном состоянии	Некорректное подключение оптических линий управления
4	Ошибка питания	постоянно		Обрыв фазы, заниженное напряжение питающей сети
5	Ошибка диагностики инвертора	диагностика		Отказ драйверов, отсутствие питания на драйверах, отказ силовых модулей, повреждение блока формирования выходных сигналов (пробой ключа и КЗ), обрыв провода в резонансном контуре.
6	Отказ инвертора	после диагностики постоянно		Отказ драйверов, отсутствие питания на драйверах, отказ силовых модулей
7	Ошибка питания ключа 1	постоянно		На драйвер не поступает питание +5В с разъема управления, отказ драйвера
8	Ошибка питания ключа 2	постоянно		
9	Ошибка питания ключа 3	постоянно		
10	Ошибка управления ключом 1	постоянно		На гальванически развязанную часть драйвера не поступает питание +15В с разъема питания, отказ ключа в следствие чего пробит супрессор в цепи затвористок.
11	Ошибка управления ключом 2	постоянно		
12	Ошибка управления ключом 3	постоянно		
13	Отказ датчика тока	диагностика		Показания датчика тока отличаются от околонулевых. Неисправен датчик тока. Вход датчика тока подключен неправильно. Неисправность платы оцифровки. Неисправность шлейфа между платой оцифровки и платой управления.
14	Отказ датчика мощности	диагностика		Показания датчика мощности отличаются от околонулевых. Неисправность шлейфа между платой оцифровки и платой управления. Неисправность платы оцифровки.
255	Ошибка записи в ПЛИС	диагностика		Во время записи в ПЛИС была попытка параллельной записи, что вызвало конфликт. Ошибка носит программный характер.



**Наши координаты:**

**ООО «Прикладная электроника». Адрес: 634055, г. Томск, пр. Академический 15, оф. 80, тел. (3822) 59-74-51, факс (3822) 491-651, e-mail: [nss4@yandex.ru](mailto:nss4@yandex.ru), [www.apelvac.com](http://www.apelvac.com)**