

Магнитотерапевтическая установка с двумя индукторами

Сергей Шишкин (г. Саров)

Магнитотерапевтические установки широко используются в медицинской практике. Имеющиеся на рынке модели конструктивно состоят из блока управления и индуктора. В статье приведено описание новой модели с двумя индукторами – её конструкция, схемотехника и алгоритмы работы.

Магнитотерапия достаточно давно и успешно используется в лечебной практике. Современные физиотерапевтические аппараты создают либо низкочастотное переменное магнитное поле, либо вращающееся, либо бегущее магнитные поля. В последние годы усиливается интерес врачей-физиотерапевтов к общей магнитотерапии (ОМТ), которая занимает всё более значимое место среди физических методов лечения. ОМТ-воздействие магнитным полем порядка 1–3,5 мТл на всё тело человека или большую его часть производится путём размещения пациента внутри индуктора большого диаметра. Такое воздействие позволяет одновременно влиять на основные системы организма, на различные виды обменных и окислительно-восстановительных процессов. Лечебный эффект ОМТ

связывают с развитием ответных реакций организма на действие магнитного поля как в виде физико-химических изменений в механизмах первичного гомеостаза, так и путём неспецифических адаптационных реакций систем общего реагирования (иммунной, нервной, гуморальной), которые влияют на реактивность организма, его резистентность, активируют компенсаторно-приспособительные механизмы.

Имеющиеся на рынке магнитотерапевтические установки с мощностью потребления до 150 Вт (например, УМТИ-3Ф производства завода «Авангард», г. Саров) конструктивно состоят из блока управления и индуктора. Стоимость такой установки составляет порядка 100 000 руб. Представленная в данной статье магнитотерапевтическая установка, состоящая из блока управления

и двух индукторов, будет стоить меньше, чем две установки типа УМТИ-3Ф.

Конструктивно установка состоит из двух индукторов, подключаемых к блоку управления. Её основные технические характеристики представлены в таблице.

Цифровая часть установки (см. рис. 1) состоит из следующих функциональных узлов:

- платы клавиатуры А1;
- платы контроллера №2 А2;
- платы контроллера №1 А3;
- платы питания А4.

Плата контроллера №1 идентична плате контроллера №2 по схемотехнике, программному обеспечению и алгоритму работы.

Силовая часть установки (см. рис. 2) состоит из силовой части индуктора № 1, силовой части индуктора № 2, а также следующих элементов:

- понижающего трансформатора Т1;
- предохранителей FU1, FU2;
- конденсаторов С2–С4;
- сетевого выключателя SA1;
- варистора FA1.

Интерфейс блока управления показан на рисунке 3. В установке можно выделить два независимых канала: канал управления индуктором № 1, который включает в себя плату контроллера № 1 и силовую часть индуктора № 1, и канал управления индуктором № 2, включающий, соответственно, плату контроллера № 2 и силовую часть индуктора № 2. Алгоритмы работы каналов одинаковы.

Галетный переключатель SA1 платы клавиатуры имеет два положения: «1» и «2». Когда переключатель установлен в положение «1», клавиатура (кнопки S1–S4) подключена к плате контроллера № 1 и, соответственно, позволяет задавать параметры для канала № 1. При установке переключателя SA1 в положение «2» задаются параметры для канала № 2. Соединитель X2 силовой части подключается к соединителю X3 платы питания цифровой части. Соединители X3 и X5 силовой части индуктора № 1 подключаются соответственно к соединителям X1 и X2 платы контроллера № 1, а соединители X6 и X8 силовой части индуктора № 2 – к соединителям X1 и X2 платы контроллера № 2.

Технические характеристики магнитотерапевтической установки с двумя индукторами

Параметры	Значения
Количество подключаемых индукторов, шт.	2
Сетевое напряжение питания, В (50 Гц)	220 ± 20%
Потребляемая мощность, В·А	Не более 300
Количество соленоидов в индукторе, шт.	3
Диаметр соленоида, мм	Не более 800
Максимальная индукция ($B_{\text{макс}}$), мТл:	
– в центре соленоида	4 ± 0,7
– вблизи соленоида	26 ± 6
Масса индуктора, кг	Не более 11
Рекомендуемое расстояние между индукторами, м	2
Диапазон регулировки индукции в центре соленоида	$B_{\text{макс}}/8 \dots B_{\text{макс}}$
Дискретность задания индукции, мТл	0,5
Частота колебаний тока в соленоиде, Гц	100 ± 15
Частота повторений импульсов тока в соленоиде, Гц	1 ± 0,1
Максимальная длительность сеанса, мин	99
Дискретность задания сеанса, мин	1
Вид поля при компоновке соленоидов:	
– цилиндр	Бегущее поле
– призма	Вращающееся поле
Время непрерывной работы, ч	Не ограничено
Габаритные размеры блока управления, мм	360 × 70 × 200
Масса блока управления, кг	Не более 14
Условия эксплуатации:	
– температура окружающей среды, °С	+15...+35
– давление, мм рт. ст.	645...795
– влажность, %	45...75

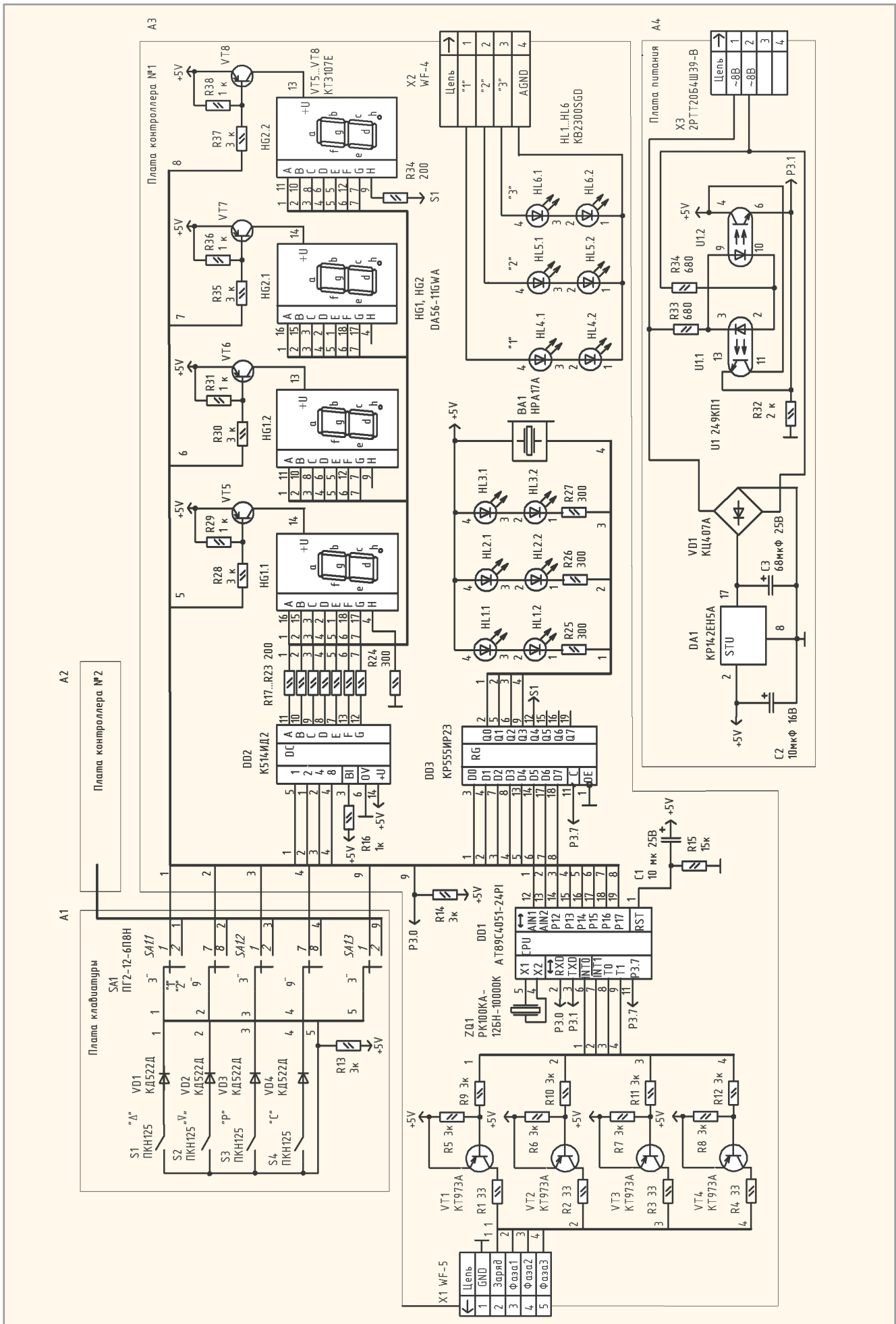


Рис.1. Принципиальная схема цифровой части блока управления

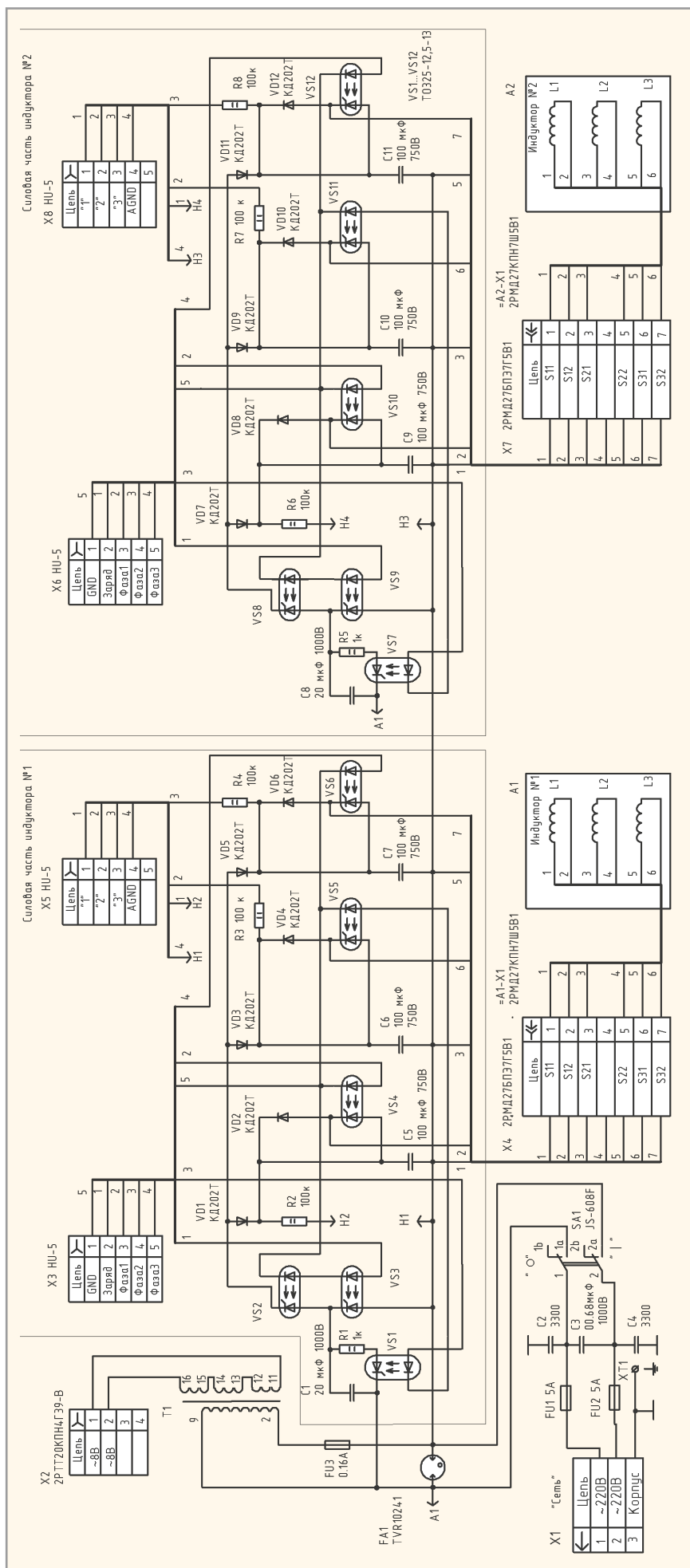


Рис. 2. Принципиальная схема силовой части блока управления с подключёнными индукторами

ПРИНЦИП РАБОТЫ КАНАЛОВ

Рассмотрим общий принцип работы каналов на примере канала № 1 (газетный переключатель установлен в положение «1»). Микроконтроллер DD1 платы контроллера (см. рис. 1) осуществляет регулируемый заряд трёх накопительных конденсаторов C5–C7 (см. рис. 2), затем микроконтроллер с выводов 7, 8, 9 выдаёт три задержанных относительно друг друга импульса, управляющих оптоотиристорами VS4–VS6. Через данные оптоотиристоры осуществляется разряд указанных накопительных конденсаторов на три соленоида (L1, L2, L3) индуктора №1. Разряд в каждом контуре носит характер свободно затухающих синусоидальных токов, фазы которых смещены на 120 электрических градусов.

Интерфейс управления канала № 1 (см. рис. 3) включает в себя блок индикации (дисплей), состоящий из двух двухразрядных цифровых семисегментных индикаторов HG1 и HG2, клавиатуру (кнопки S1–S4) и индикаторы HL1–HL6.

Кнопки клавиатуры имеют следующие назначения:

- S1 (▲) – увеличение значения магнитной индукции и длительности сеанса (в минутах); удержание кнопки в нажатом состоянии более трёх секунд в режиме регулировки длительности сеанса приводит к увеличению времени на три единицы каждые 0,2 с;
- S2 (▼) – уменьшение значения магнитной индукции и длительности сеанса (в минутах); удержание кнопки в нажатом состоянии более трёх секунд в режиме регулировки длительности сеанса приводит к уменьшению времени на три единицы каждые 0,2 с;
- S3 (P) – выбор задаваемого параметра: индукции или длительности сеанса; в режиме изменения индукции включается индикатор HL1, в режиме изменения длительности сеанса – индикатор HL2;
- S4 (C) – запуск или остановка процедуры («Старт/стоп»).

Разряды индикации интерфейса (см. рис. 3) имеют следующие назначения:

- 1-й разряд (индикатор HG1.1) отображает единицы значения индукции в мТл;
- 2-й разряд (индикатор HG1.2) отображает десятые доли значения индукции в мТл;
- 3-й разряд (индикатор HG2.1) отображает десятки минут;
- 4-й разряд (индикатор HG2.2) отображает единицы минут.

Сразу после подачи питания на индикаторах высвечиваются нулевые значения индукции и длительности сеанса. Индикатор HL1 включён, HL2 – выключен. Кнопками S1 и S2 (▲, ▼) устанавливаются необходимые значения индукции и длительности сеанса. Для запуска необходимо нажать кнопку S4 (C), установка переходит в рабочий режим. Осуществляется заряд и разряд накопительных конденсаторов, идёт обратный отсчёт заданного времени, что отражается на индикаторе HG2. Для контроля времени процедуры (или сеанса) на плате контроллера организован таймер с обратным отсчётом времени.

Функциональные узлы цифровой части (контроллер № 1)

Плата контроллера № 1 выполнена на микроконтроллере DD1, резонатором ZQ1 задаётся тактовая частота 10 МГц. Микроконтроллер управляет работой всего канала. Резисторы R25–R27 являются токоограничителями для световых полос индикаторов HL1–HL3. Узел динамической индикации собран на микросхеме DD2, транзисторах VT5–VT8, сдвоенных цифровых семисегментных индикаторах HG1 и HG2.

Регистр DD3 служит для увеличения количества линий вывода микроконтроллера и управляет внутренними исполнительными устройствами: звуковой сигнализацией (пьезоэлектрическим излучателем BA1), индикаторами режима (световыми полосами индикаторов HL1 и HL2) и световой полосой HL3. Сигнал с выхода 12 регистра DD2 через резистор R34 включает точку h на индикаторе HG2.2.

Микроконтроллер DD1 управляет оптодиодами силовой части через транзисторы VT1–VT4.

На плате питания расположены источник питания (стабилизатор напряжения) +5 В и датчик сети, выполненный на сдвоенном оптроне U1. Он отслеживает моменты перехода сетевого напряжения через ноль. Выходное напряжение датчика с резистора R32 поступает на вывод 3 микроконтроллера DD1. Выходное напряжение +5 В и выходной сигнал с датчика сети поступают на обе платы контроллеров. Потребление тока по каналу напряжения +5 В – не более 1 А.

Функциональные узлы силовой части (индуктор №1)

Схема заряда конденсаторов C5–C7 построена на основе схемы выпрями-

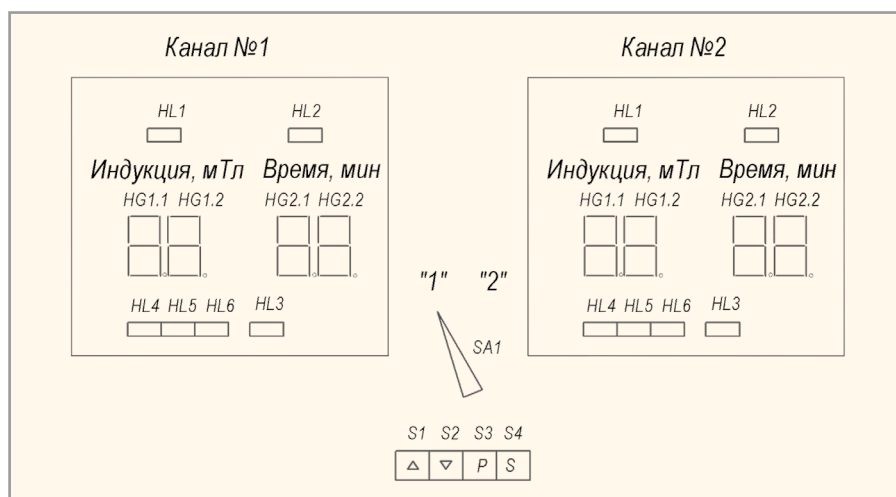


Рис. 3. Интерфейс блока управления

теля с удвоением напряжения и включает в себя конденсатор C1, зарядные оптодиоды VS2, VS3 и диоды развязки VD1, VD3 и VD5. Регулировка уровня напряжения на конденсаторах C5–C7 осуществляется путём изменения длительности их заряда – за счёт изменения длительности включения оптодиодов VS2 и VS3. От уровня напряжения зависит величина индукции магнитного поля в индукторе № 1 при разряде накопительных конденсаторов через соленоиды L1, L2 и L3. Ёмкость конденсаторов C5–C7, диаметр колец, сопротивление и индуктивность соленоидов L1, L2 и L3 рассчитаны таким образом, что при изменении напряжения на накопительных конденсаторах от 65 до 500 В индукция в центре соленоида меняется от 0,5 до 4 мТл. Световые полосы индикаторов HL4–HL6 цифровой части блока управления служат для визуального контроля процессов заряда и разряда накопительных конденсаторов.

Конденсаторы C2–C4 силовой части служат для снижения уровня помех, создаваемых установкой в рабочем цикле. Кроме того, чтобы снизить уровень помех, каждый рабочий цикл начинается в момент перехода сетевого напряжения через ноль. Для защиты силовой части от перенапряжения используется варистор FA1.

Алгоритм работы установки в рабочем цикле

Временные диаграммы, поясняющие алгоритм работы установки в рабочем цикле, приведены на рисунке 4.

Как упоминалось выше, после подачи питания необходимо с клавиатуры блока управления задать необходимые параметры работы канала – величину индукции и время процедуры.

Данные параметры постоянно отражаются на дисплее (на индикаторах HG1 и HG2). При инициализации установки на всех выводах порта P3 микроконтроллера DD1 устанавливается уровень логической «1». Установка переходит в рабочий цикл сразу после нажатия на кнопку «Старт/стоп» (S4), при этом включается световая полоса HL3. Микроконтроллер DD1 начинает опрашивать вывод 3 (P3.1) и при наличии на выводе логического «0» (который соответствует моменту прохождения сетевого напряжения через ноль) устанавливает логический «0» на выводе 6 (см. рис. 4а). При этом открывается транзистор VT1 и включаются оптодиоды VS2 и VS3. Начинается заряд накопительных конденсаторов C5–C7.

Заряд накопительных конденсаторов может продолжаться от 50 до 400 мс в зависимости от того, какая величина магнитной индукции установлена на дисплее блока управления. Через указанное время микроконтроллер устанавливает логическую «1» на выводе 6, тем самым закрывая транзистор VT1 и выключая оптодиоды VS2 и VS3. Через 900 мс микроконтроллер устанавливает логический «0» на выводе 7 (см. рис. 4б). При этом открывается транзистор VT2 и включается оптодиод VS4 первого разрядного контура. Начинается колебательный процесс разряда конденсатора C5 через соленоид L1 индуктора. Разряд носит характер свободно затухающих синусоидальных токов.

Через 3,3 мс с момента установки логического «0» на выводе 7 микроконтроллера устанавливается логический «0» на выводе 8 (см. рис. 4в), а ещё через 3,3 мс – логический «0» на выводе 9 (см. рис. 4г). При этом через открытые транзисторы VT3 и VT4 включаются, соответствен-

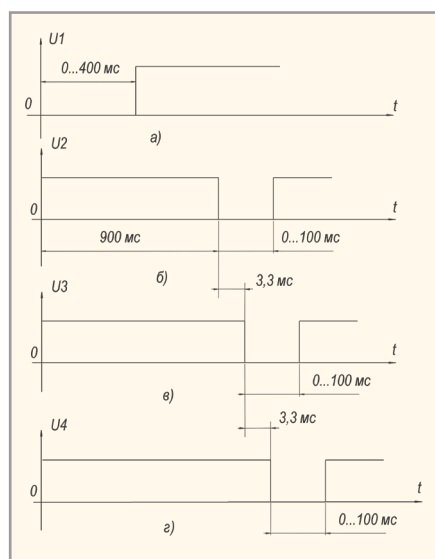


Рис. 4. Временные диаграммы, поясняющие алгоритм работы установки

но, оптотиристоры VS5 и VS6 второго и третьего разрядных контуров. Конденсаторы C6 и C7 разряжаются через соленоиды L2 и L3 индуктора № 2.

Через 100 мс с момента включения оптотиристора VS6 микроконтроллер устанавливает на выводах 7, 8 и 9 логическую «1». Оптотиристоры VS4–VS6 закрываются. За это время колебательные процессы в контурах заканчиваются – рабочий цикл завершён.

Следующий рабочий цикл начнётся в момент прохождения сетевого напряжения через ноль. Такие циклы заряда и разряда накопительных конденсаторов продолжают снова и снова, пока не заканчивается время сеанса (процедуры). Во время рабочего цикла точка h индикатора HG2.2 мигает с частотой 1 Гц. По окончании заданного времени процедуры на десять секунд включается звуковая сигнализация BA1, световая полоса HL3 периодически мигает с частотой 1 Гц. По истечении десяти секунд световая полоса HL3 выключается, точка h индикатора HG2.2 гаснет. Чтобы начать новую процедуру с теми же параметрами, достаточно нажать на кнопку S4 («Старт/стоп»). Для остановки процедуры нужно нажать на ту же кнопку, световая полоса HL3 погаснет. Цифровая часть схемы гальванически развязана от силовой части.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Программное обеспечение микроконтроллера DD1 обеспечивает управление временем заряда накопительных конденсаторов и работу таймера с обратным отсчётом и динамической индикацией заданных параметров. Тай-

мер TF0 микроконтроллера формирует запрос на прерывание через каждые 310 мкс. Этот таймер играет роль базового счётчика времени, который формирует временные интервалы, необходимые для отображения разрядов в системе динамической индикации установки и задания временных интервалов работы схемы в рабочем цикле.

Сразу после подачи питания на выводе 1 микроконтроллера DD1 через RC-цепь (резистор R15, конденсатор C1 – см. рис. 1) формируется сигнал системного аппаратного сброса микроконтроллера DD1. Далее инициализируется программа, в которой задаются параметры динамической индикации и счётчиков для временных интервалов 3,3, 100 и 900 мс. Затем запускается таймер TF0 и разрешается работа устройства по описанному выше алгоритму. Для работы динамической индикации в ОЗУ микроконтроллера DD1 организован буфер отображения.

В подпрограмме обработки прерывания таймера TF0 задан опрос микроконтроллером состояния вывода 3 (P3.1) через каждые 310 мкс. В ячейке Z25MS организован счётчик, реализующий задержку 25 мс. В ячейке ZADER реализован счётчик, реализующий задержку от 50 до 400 мс с шагом 50 мс. Задержка определяется индукцией, задаваемой на дисплее интерфейса. В ячейке Z3MS организован счётчик, реализующий задержку 3,3 мс. В ячейке Z01S – счётчик, реализующий задержку 100 мс. В ячейке Z09S – счётчик, реализующий задержку 900 мс. Байты, которые микроконтроллер периодически записывает в порт P1 для индикаторов HG1 и HG2 и в регистр DD3, условно назовём байтом динамической индикации и байтом световой сигнализации соответственно. Младшая тетрада байта динамической индикации поступает на вход дешифратора DD2 и определяет значение разряда. Биты старшей тетрады через транзисторы VT5–VT8 управляют индикаторами HG1 и HG2 в процессе динамической индикации. Младшая тетрада байта динамической индикации представляет собой двоично-кодированное десятичное число и через дешифратор DD3 управляет сегментами индикаторов HG1 и HG2.

Как отмечалось выше, каждый новый рабочий цикл начинается в момент прохождения сетевого напряжения через ноль. После установки параметров и нажатия кнопки S4 («Старт/стоп») устанавливается бит, разрешающий работу программы управления заря-

дом. При наличии логического «0» на выводе 3 (P3.1) микроконтроллер устанавливает логический «0» на выводе 6, тем самым открывая через транзистор VT1 оптотиристоры VS2 и VS3. Значение индукции в индукторе при разряде накопительных конденсаторов зависит от величины напряжения заряженных накопительных конденсаторов или от длительности временного интервала, в течение которого оптотиристоры VS2 и VS3 открыты. Длительность данного интервала привязана к значению индукции, отражаемому на дисплее интерфейса. Магнитная индукция может принимать восемь значений – от 0 до 4 мТл с шагом 0,5 мТл. Соответственно, длительность интервала должна составлять от 50 до 400 мс с шагом 50 мс. Как уже было сказано, подобную задержку реализует счётчик, организованный в ячейке ZADER. По окончании этого интервала микроконтроллер устанавливает логическую «1» на выводе 6, тем самым закрывая транзистор VT1 и оптотиристоры VS8 и VS9. Заряд накопительных конденсаторов заканчивается.

В памяти данных микроконтроллера в адресах с 22H по 25H организован буфер отображения для динамической индикации. Младшая тетрада каждого байта в буфере отображения представляет собой двоично-кодированное десятичное число, которое определяет значение разряда, а старшая тетрада определяет номер разряда в динамической индикации. Таким образом, в каждом байте буфера определено значение числа и его место при выводе на индикатор. Каждый байт из функциональной группы в цикле в подпрограмме обработки прерывания таймера TF0 выводится в порт P1 микроконтроллера DD1. Старшая тетрада байта индикации представляет собой код «бегущий ноль». Таким образом, записывая в цикле поочередно байты из функциональной группы буфера в порт P1, получаем режим динамической индикации. В подпрограмме обработки прерывания вначале происходит опрос датчика сети, затем реализуются задержки, происходит опрос клавиатуры и лишь потом выводится в регистр DD3 байт световой индикации, а в порт P1 – байт динамической индикации. То есть на выводах порта P1 почти всегда присутствует байт динамической индикации. В регистр R0 записывается адрес ячейки из буфера отображения. При каждом обращении к подпрограмме обработки прерывания регистр R0 инкрементируется.

В основной программе происходит отсчёт одной минуты (счётчик организован на регистре R5), декремент текущего времени и установка времени процедуры. Как только заданное время процедуры заканчивается, на 10 с включается звуковая сигнализация ВА1. По истечении 10 с микроконтроллер DD1 устанавливает на всех выводах порта P3 уровень логической «1». Программа, разработанная на Ассемблере, занимает всего порядка 0,82 кбайт памяти программ микроконтроллера.

Компоненты и конструкция

В цифровой части применены резисторы R1–R38 типа C2-33H-0.125, подойдут и любые другие резисторы с такой же мощностью рассеивания и допуском 5%. Используются конденсаторы C1–C3 типа K50-35.

В силовой части применены:

- резисторы R1–81 типа C2-33H-2,
- конденсаторы C2 и C4 типа K15-5 (3 кВ),
- конденсатор C3 типа K73-11,
- конденсаторы C1, C5–C11 типа K75-406,
- трансформатор T1 типа ТПП254-220-50.

Номинальный ток предохранителей FU1 и FU2 – 10 А, тип – ВПБ6-13

(10 А/250 В). Номинальный ток предохранителя FU3 – 0,16 А, тип ВПТ6-2.

Индуктор представляет собой три кольца-соленоида диаметром 800 мм. При помощи крепёжных приспособлений кольца могут компоноваться либо в призму для создания вращающегося электромагнитного поля, либо в цилиндр для создания линейно перемещающегося в пространстве поля. Соленоид содержит 100 витков провода ПЭВ-2 1,06 мм (ГОСТ 7262-78). Кольцо обмотано лентой из синтепона и вложено в две оболочки (верхнюю и нижнюю) из полистирола УПС-0803Э (ГОСТ 28250-90). Соединитель индуктора подключён к соленоидам через кабель ПВС 2 × 1,0. Кабель заходит в кольцо соленоида через кабельный ввод MGB-P-8G. Внешний вид индуктора с кольцами, скомпонованными в цилиндр, показан на рисунке 5.

Подключать индукторы к блоку управления можно только при выключенном сетевом питании. В установке имеется опасное для жизни напряжение до 1000 В, поэтому при снятии верхней крышки во время проверки необходимо соблюдать меры безопасности. Вели-



Рис. 5. Внешний вид индуктора

чину магнитной индукции поля можно контролировать с помощью универсального миллитесламетра ТП2-2У.

ЛИТЕРАТУРА

1. Масалов Ю.А., Свириденко С.А., Свириденко А.С. Патент РФ № 2088278.

