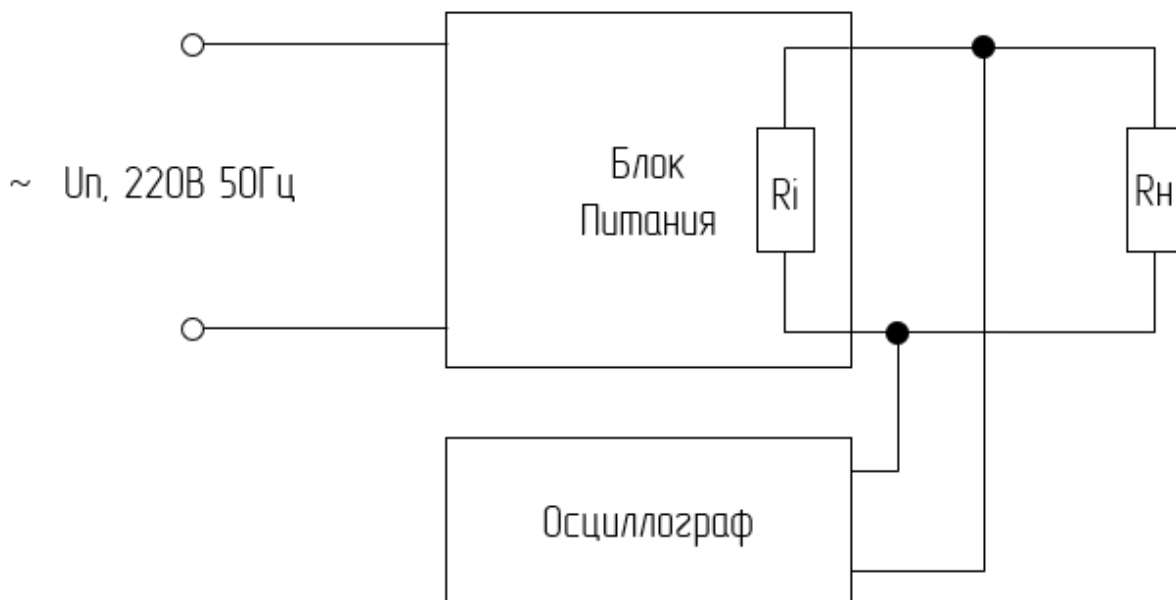


ЛАБОРАТОРНОЕ ИСПЫТАНИЕ МОЩНОГО ПРОГРАММИРУЕМОГО ИМПУЛЬСНОГО БЛОКА ПИТАНИЯ МОДЕЛИ IT6523C

Задачи: проверка блока питания на соответствие заявленным производителем характеристикам. Разработка методов проверки тестовых импульсов стандарта *ISO 7637-2: test pulse 2b, test pulse 4, test pulses 5a и 5b*. Обзор программной части блока питания, реализация удаленного управления блоком питания; формирование импульсов, задаваемых пользователем.

Ход работы:

Для проведения измерений тестовых импульсов блока питания к его выходу подключается нагрузка, сопротивлением $R_n = 4$ Ом. Также параллельно цепи соединяющую нагрузку и выход блока питания подключается осциллограф. Схема стенда представлена ниже:



Измерения проводились в ручном режиме управления блоком питания. Для того чтобы выбрать функцию нажать последовательность: *Shift=>Iset=>Road Vehicles* и выбрать нужный тест используя курсоры. Чтобы запустить функцию нужно последовательно нажать *Meter=>On/Off=>Shift=>Enter*.

- *DIN40839 (test pulse 4)*

Импульс *DIN40839* имитирует снижение напряжения питания, вызванное включением цепей стартера двигателей внутреннего сгорания, исключая всплески, связанные с запуском. Временной график приведен ниже:

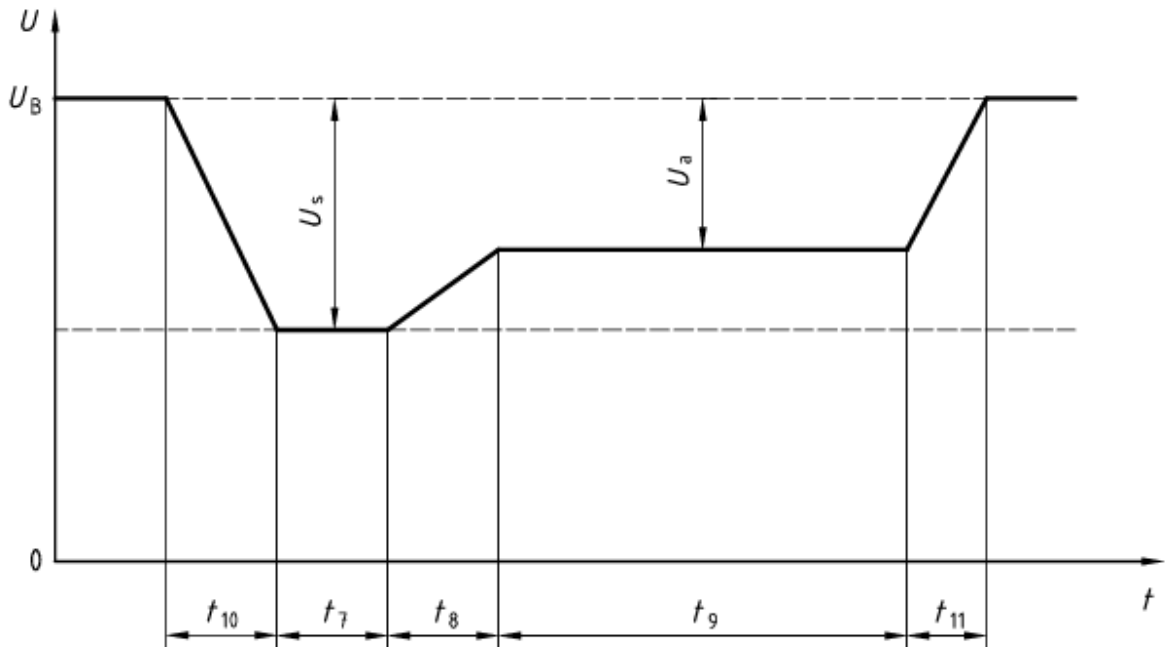


Таблица основных параметров:

Параметр	Система 12 В	Система 24 В
U_s	от - 6 В до -7 В	от - 12 В до -16 В
U_a	от - 6 В до -7 В при $ U_a \leq U_s $	от - 5 В до -12 В при $ U_a \leq U_s $
R_i	от 0 до 0,02 Ом	
t_7	от 15 мс до 40 мс*	от 50 мс до 100 мс*
t_8	≤ 50 мс	
t_9	от 0,5 с до 20 с*	
t_{10}	5 мс	10 мс
t_{11}	от 5 мс до 100 мс**	от 10 мс до 100 мс***

* Используемое значение должно быть согласовано между производителем транспортного средства и поставщиком оборудования для соответствия предлагаемому применению.

** $t_{11} = 5$ мс характерно для случая, когда двигатель запускается в конце периода проворачивания, тогда как $t_{11} = 100$ мс характерно для случая, когда двигатель не запускается вовсе.

*** $t_{11} = 10$ мс характерно для случая, когда двигатель запускается в конце периода проворачивания, тогда как $t_{11} = 100$ мс характерно для случая, когда двигатель не запускается вовсе.

Перед тем как начать измерения, стоит упомянуть важный аспект параметра блока питания, как скорость цепи обратной связи (*Loop-mode*). Источник питания имеет два рабочих режима: постоянное напряжение *CV* и постоянный ток *CC*, которые соответствуют двум внутренним контурам (контур управления *CV* и контур управления *CC* соответственно). По умолчанию эти две настройки стоят на значение *High*. Некоторые тестовые импульсы, из-за своих быстро меняющихся процессов требуют более медленную скорость *CV* цепи. Поэтому, перед каждым новым испытанием стоит обратить внимание на значение данных параметров. Настройка производится нажатием следующей комбинации: *Shift=>P-set=>Setup=>Loop-mode=>CV-Loop=>High*. (подробнее читать на стр. 38 *High power and Programmable Switching Power supply IT6500C Series User Manual*).

Тестирование импульса *DIN40839* происходило с выключенной внутренней нагрузкой $R_i = 0$ Ом, подключенной внешней нагрузкой $R_n = 4$ Ом и *CV-loop* на значении *High*.

Рекомендуемые настройки осциллографа: развертка (*Sweep*) в режиме *normal*, запуск по нисходящему фронту (триггер *Edge*), уровень триггера (*trig level*) = 10 В для системы 12 В и уровень = 20 В для системы 24 В, масштаб развертки: $V/s = 5$ В, $T/s = 1$ с.

Были получены следующие характеристики:

Для сети 12В

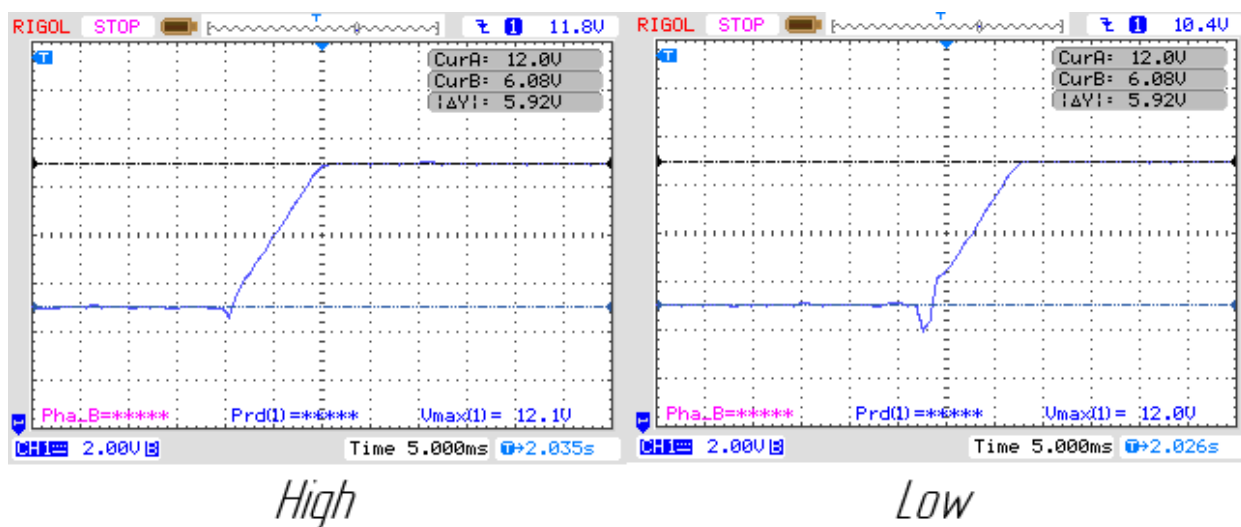
	U_s	U_a	R_i	t_7	t_8	t_9	t_{10}	t_{11}
Стандарт	-6 ~ -7 В	-2,5 ~ -6 В	0 ~ 0,02 Ом	15 ~ 40 мс	≤ 50 мс	0,5 ~ 20 с	5 мс	5 ~ 100 мс
Полученные показания	-7 В	-6 В	0	14,4 мс	5,2 мс	2 с	5,6 мс	10 мс

Для сети 24 В

	U_s	U_a	R_i	t_7	t_8	t_9	t_{10}	t_{11}
Стандарт	-12 ~ -24 В	-5 ~ -12 В	0 ~ 0,02 Ом	50 ~ 100 мс	≤ 50 мс	0,5 ~ 20 с	10 мс	10 ~ 100 мс
Полученные показания	-16 В	-12 В	0	50,4 мс	4,8 мс	2 с	10,4 мс	10,4 мс

Блок питания хорошо справляется с формированием данного импульса: все характеристики соответствуют заданным в стандарте.

Замечание: на участке перехода импульса от t_9 к t_{11} присутствует выброс амплитуды, если включить значение *CV-Loop* на *Low*, то это приведет к увеличению выброса, поэтому для данного импульса, я бы рекомендовал значение *High*.



Для справки: также у блока есть возможность выбрать режим *User defined* для данного импульса. Пользователь задает значение амплитуды U_B , а остальные значения амплитуд U_s и U_a остаются фиксированными и вычисляются по формуле $U_B - U_s = 6$ В, $U_B - U_s = 7$ В. Данный случай будет актуален если значение U_B было выбрано меньше чем 16 В, в ином случае, блок питания увеличит амплитуду U_s и U_a в два раза.

- *ISO 16750-2 (Load-Dump) test A (test pulse 5a)*

Этот тест представляет собой имитацию переходного процесса сброса нагрузки, происходящего в случае отключения разряженной батареи, когда генератор вырабатывает зарядный ток, и при наличии других нагрузок в цепи генератора в этот момент; амплитуда сброса нагрузки зависит от скорости генератора и уровня возбуждения поля генератора в момент отключения батареи. В большинстве новых генераторов амплитуда сброса нагрузки подавляется (фиксируется) путем добавления ограничительных диодов. Сброс нагрузки может произойти из-за отключения батареи в результате коррозии кабеля, плохого соединения или преднамеренного отключения при работающем двигателе. Основные характеристики приведены ниже:

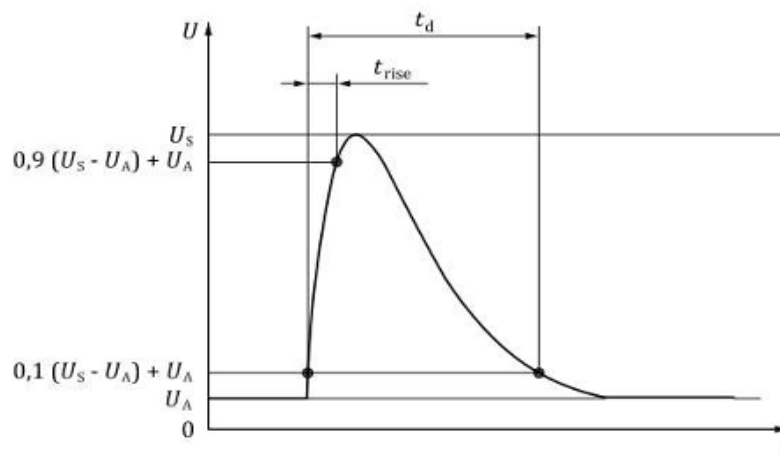


Таблица основных параметров:

Параметр	Тип системы	
	12 В	24 В
U_s^*	$79 \leq U_s \leq 101 \text{ В}$	$151 \leq U_s \leq 202 \text{ В}$
R_i^*	$0,5 \leq R_i \leq 4 \text{ Ом}$	$1 \leq R_i \leq 8 \text{ Ом}$
t_d	$40 \leq t_d \leq 400 \text{ мс}$	$100 \leq t_d \leq 350 \text{ мс}$
t_{rise}	10^0_{-5} мс	10^0_{-5} мс

* Если не требуется иное, используйте более высокое напряжение с более высоким уровнем внутреннего сопротивления или используйте более низкое напряжение с более низким внутренним сопротивлением.

Сначала тестирование импульса происходило с выключенной внутренней нагрузкой $R_i = 0 \text{ Ом}$, подключенной внешней нагрузкой $R_n = 4 \text{ Ом}$ и *CV-loop* на значении *High*. Предустановки параметров импульса: $t_d = 40 \text{ мс}$, $U_{\text{п}} = 79 \text{ В}$ для системы 12 В и $t_d = 100 \text{ мс}$, $U_{\text{п}} = 151 \text{ В}$ для системы 24 В.

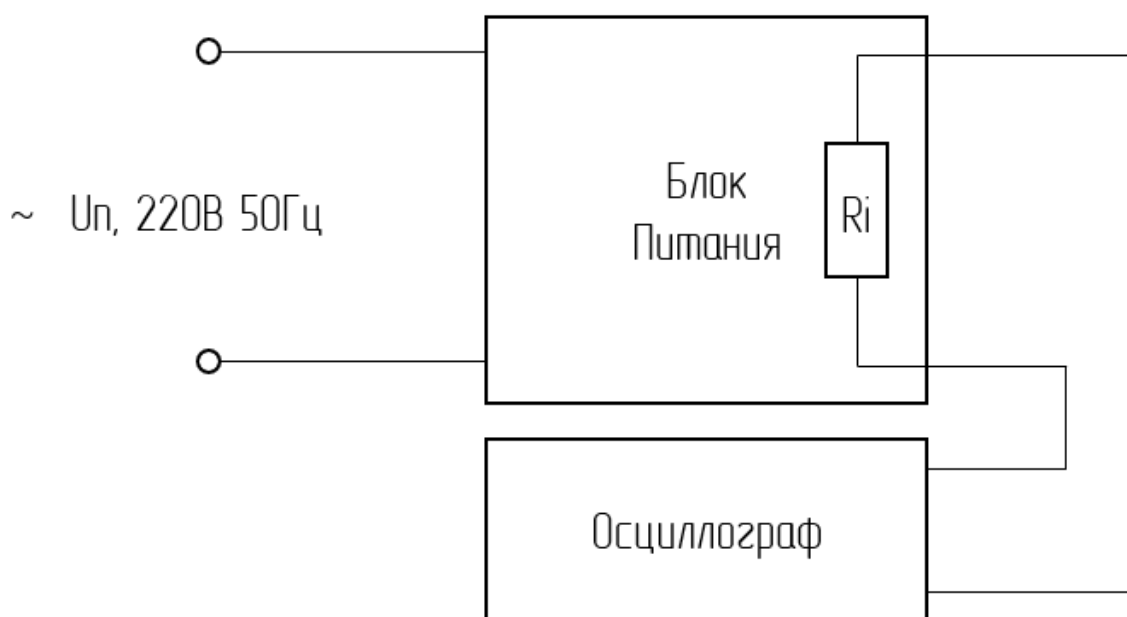
Рекомендуемые настройки осциллографа: развертка (*Sweep*) в режиме *normal*, запуск по нарастающему фронту (триггер *Edge*), уровень триггера (*trig*

$level) = 60 \text{ В}$ для системы 12 В и уровень = 130 В для системы 24 В, масштаб развертки: $V/s = 20 \text{ В}$, $T/s = 50 \text{ мс}$ для системы 12 В и $V/s = 50 \text{ В}$, $T/s = 100 \text{ мс}$ для системы 24 В.

Были получены следующие параметры:

Параметр	Тип системы	
	12 В	24 В
U_{s*}	79,1 В	148 В
R_{i*}	0 Ом	0 Ом
t_d	51,2 мс	214 мс
t_{rise}	9,6 мс	10 мс

Для того чтобы протестировать импульсы с внутренне нагрузкой, ее требуется включить: $Shift \Rightarrow V\text{-}set \Rightarrow Resistance$ и указать требуемое сопротивление.



Дальше тестирование импульса происходило с включенной внутренней нагрузкой $R_i = 4 \text{ Ом}$, отключенной внешней нагрузкой $R_n = 0 \text{ Ом}$ и $CV\text{-}loop$ на значении Low (конкретно в этом случае скорость обратной связи влияет на пиковое значение амплитуды, поэтому было выбрано значение Low). Предустановки параметров импульса: $t_d = 40 \text{ мс}$, $U_n = 79 \text{ В}$ для системы 12 В и $t_d = 100 \text{ мс}$, $U_n = 200 \text{ В}$ для системы 24 В.

Параметр	Тип системы	
	12 В	24 В
U_{s*}	74,4 В	192 В
R_{i*}	4 Ом	4 Ом
t_d	119 мс	294 мс
t_{rise}	12,8 мс	14 мс

Видно, что происходит растекания импульса и время нарастания выходит за рамки оговоренных в стандарте. Если же оставить значение *CV-Loop* на *High*, то пиковые значения амплитуды сильно просядут (71 В и 184 В).

Импульс *ISO 16750-2 (Load-Dump) test A* с выключенной внутренней нагрузкой $R_i = 0$ Ом и $R_H = 0$ Ом. Предустановки для импульсов не изменялись. Таблица основных параметров для случая без нагрузок:

Параметр	Тип системы	
	12 В	24 В
U_{s*}	80 В	204 В
R_{i*}	0 Ом	0 Ом
t_d	125 мс	312 мс
t_{rise}	8 мс	8,8 мс

Импульс *ISO 16750-2 (Load-Dump) test A* с включённой внутренней нагрузкой $R_i = 4$ Ом и $R_H = 4$ Ом. Предустановки для импульсов не изменялись. Таблица основных параметров для случая с нагрузкой:

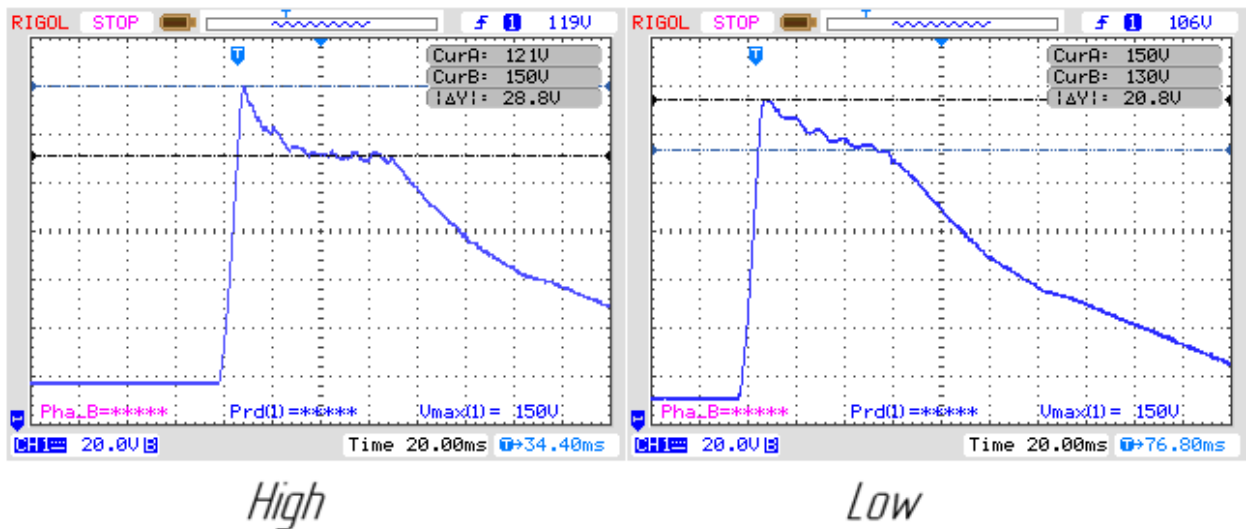
Параметр	Тип системы	
	12 В	24 В
U_s	50 ± 10 В	100 ± 20 В
R_i	$0,5 \leq R_i \leq 4$ Ом	$1 \leq R_i \leq 8$ Ом
t_d	$200 \text{ мс} \pm 40 \text{ мс}$	$175 \text{ мс} \pm 35 \text{ мс}$
t_{rise}	-	-

Рекомендуемые настройки осциллографа: развертка (*Sweep*) в режиме *normal*, запуск по нарастающему фронту (триггер *Edge*), уровень триггера (*trig level*) = 30 В для системы 12 В и уровень = 90 В для системы 24 В, масштаб развертки: $V/s = 10$ В, $T/s = 50$ мс для системы 12 В и $V/s = 50$ В, $T/s = 100$ мс для системы 24 В.

Были получены следующие параметры:

Параметр	Тип системы	
	12 В	24 В
U_{s*}	52 В	104 В
R_{i*}	4 Ом	4 Ом
t_d	53,2 мс	192 мс
t_{rise}	-	-

Замечание: в первом тесте без нагрузки если выставит напряжение $U_{\Pi} = 200$ В, тот это приводит к растеканию импульса и неоднородности спада. Были протестированы оба случая – *CV-loop High* и *Low*:



Как итог, изучая результаты и особенности работы блока питания с импульсом *test pulse 5a*, можно заметить, что он не достигает требуемых характеристик, в частности верхнего амплитудного значения U_s для 24 В систем для случая без нагрузки. Возможно, это связано с нехваткой мощности поэтому стоит рассмотреть случай увеличения нагрузки R_H .

- ISO 16750-2 (Load-Dump) test B (test pulse 5b)

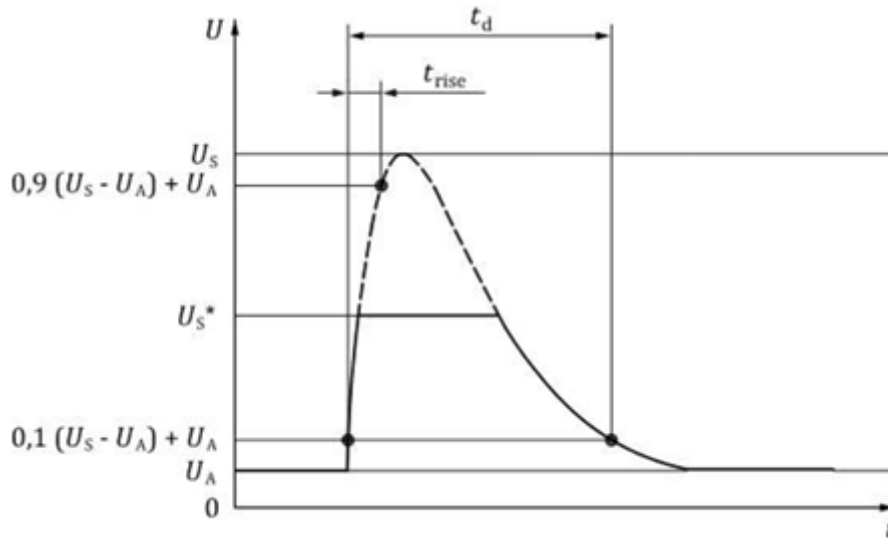


Таблица основных параметров:

Параметр	Тип системы	
	12 В	24 В
U_s^a	$79 \leq U_s \leq 101$ В	$151 \leq U_s \leq 202$ В
U_s^*	Жесткость 1: 27 В Жесткость 2: 30 В Жесткость 3: 32 В Жесткость 4: 35 В	Задается потребителем (типичное значение 58 В)
R_i^a	$0,5 \leq R_i \leq 4$ Ом	$1 \leq R_i \leq 8$ Ом
t_d	$40 \leq t_d \leq 400$ мс	$100 \leq t_d \leq 350$ мс
t_{rise}	10^{-5} мс	10^{-5} мс

а Если не требуется иное, используйте более высокое напряжение с более высоким уровнем внутреннего сопротивления или используйте более низкое напряжение с более низким внутренним сопротивлением.

Сначала тестирование импульса происходило с выключенной внутренней нагрузкой $R_i = 0$ Ом, подключенной внешней нагрузкой $R_n = 4$ Ом и *CV-loop* на значении *High*. Предусстановки параметров импульса: $t_d = 40$ мс, $U_{\pi} = 79$ В для системы 12 В и $t_d = 100$ мс, $U_{\pi} = 200$ В, $U_s = 58$ В для системы 24 В.

Рекомендуемые настройки осциллографа: развертка (*Sweep*) в режиме *normal*, запуск по нарастающему фронту (триггер *Edge*), уровень триггера (*trig level*) = 30 В для системы 12 В и уровень = 50 В для системы 24 В, масштаб развертки: $V/s = 10$ В, $T/s = 20$ мс для системы 12 В и $V/s = 20$ В, $T/s = 100$ мс для системы 24 В.

Были получены следующие результаты:

Параметр	Тип системы	
	12 В	24 В
U_s^a	79 В	200 В
U_{s*}	33,6 В	55,2 В
R_i^a	0 Ом	0 Ом
t_d	52 мс	100 мс
t_{rise}	-	-

Импульс *ISO 16750-2 (Load-Dump) test B* с включённой внутренней нагрузкой $R_i = 4$ Ом и $R_H = 4$ Ом. Предусстановки для импульсов не изменялись. Таблица основных параметров для случая с нагрузкой:

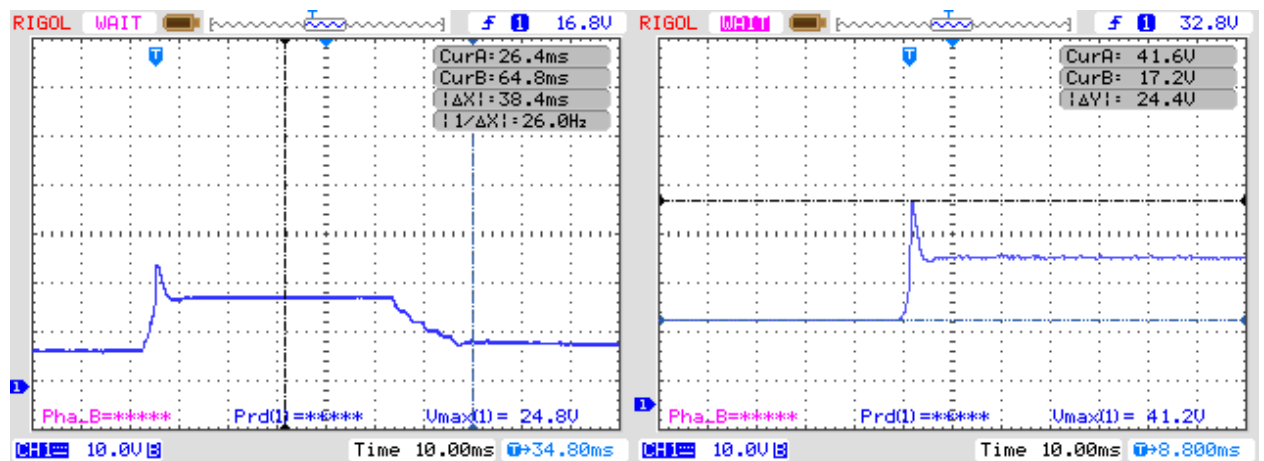
Параметр	Тип системы	
	12 В	24 В
U_s^a	79	200
U_{s*}	Жесткость 1: 13,5 В Жесткость 2: 15 В Жесткость 3: 16 В Жесткость 4: 18,5 В	Задается потребителем (типичное значение 29 В)
R_i^a	$0,5 \leq R_i \leq 4$ Ом	$1 \leq R_i \leq 8$ Ом
t_d	$40 \leq t_d \leq 400$ мс	$100 \leq t_d \leq 350$ мс
t_{rise}	10_{-5}^0 мс	10_{-5}^0 мс

Рекомендуемые настройки осциллографа: развертка (*Sweep*) в режиме *normal*, запуск по нарастающему фронту (триггер *Edge*), уровень триггера (*trig level*) = 10 В для системы 12 В и уровень = 20 В для системы 24 В, масштаб развертки: $V/s = 10$ В, $T/s = 10$ мс для системы 12 В и $V/s = 10$ В, $T/s = 50$ мс для системы 24 В.

Были получены следующие результаты:

Параметр	Тип системы	
	12 В	24 В
U_s^a	79	200
U_{s*}	18 В	30 В
R_i^a	4 Ом	4 Ом
t_d	55,6 мс	208 мс
t_{rise}	-	-

Замечание: при тестировании импульса с нагрузкой, как для систем 12 В, так и для систем 24В присутствует передний выброс:



Блок питания справляется с импульсом без нагрузки, выдавая заявленные характеристики. Но амплитудное уровень жесткости находится около граничного уровня (3-4 уровень жёсткости). Тоже самое можно сказать и про случай с нагрузкой, за исключением вышеупомянутого выброса.

- *SAEJ1113-11 (test pulse 2b)*

Импульс *SAEJ1113-11* имитирует переходные процессы от двигателей постоянного тока, работающих как генераторы после выключения зажигания. Основные характеристики приведены ниже:

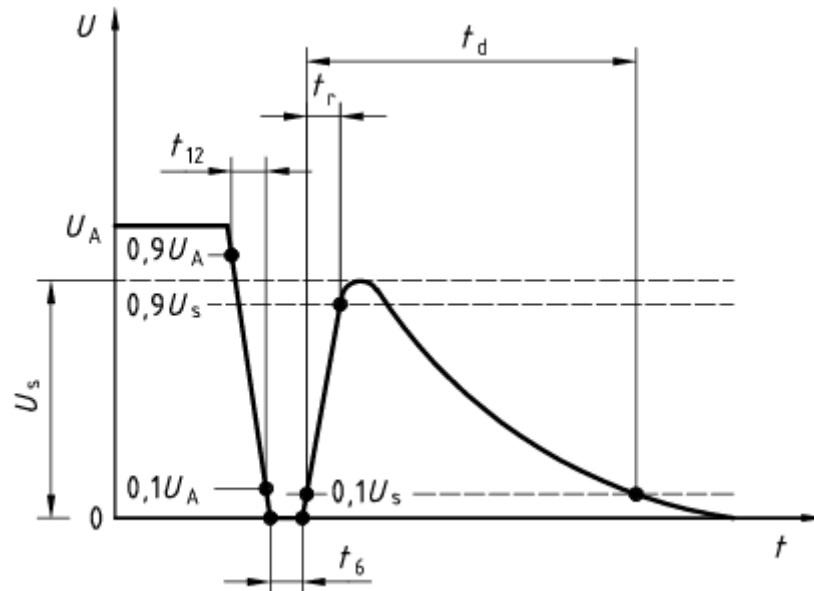


Таблица основных параметров:

Параметр	Система 12 В	Система 24 В
U_s	10 В	20 В
R_i	от 0 Ом до 0,05 Ом	
t_d	от 0,2 с до 2 с	
t_{12}	1 мс \pm 0,5 мс	
t_r	1 мс \pm 0,5 мс	
t_6	1 мс \pm 0,5 мс	

Сначала тестирование импульса происходило с выключенной внутренней нагрузкой $R_i = 0$ Ом, подключенной внешней нагрузкой $R_H = 4$ Ом и *CV-loop* на значении *Low*. Предустановки параметров импульса: $t_d = 200$ мс, для обеих систем 12 В и 24 В.

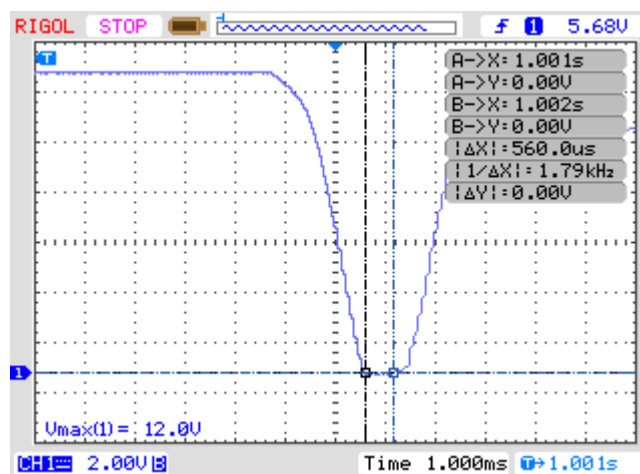
Рекомендуемые настройки осциллографа: развертка (*Sweep*) в режиме *normal*, запуск по нарастающему фронту (триггер *Edge*), уровень триггера (*trig level*) = 8,6 В для системы 12 В и для системы 24 В, масштаб развертки: $V/s = 5$ В, $T/s = 200$ мс для системы 12 В и $V/s = 10$ В, $T/s = 200$ мс для системы 24 В.

Были получены следующие результаты:

12В

	U_s	R_i	t_d	t_1	t_6	t_r
Стандарт	10 В	$\leq 0,05 \text{ Ом}$	0,2 ~ 2 с	1 мс $\pm 50\%$	1 мс $\pm 50\%$	1 мс $\pm 50\%$
Полученные показания	10 В	0	190 мс	1 мс	1,2 мс	1,4 мс

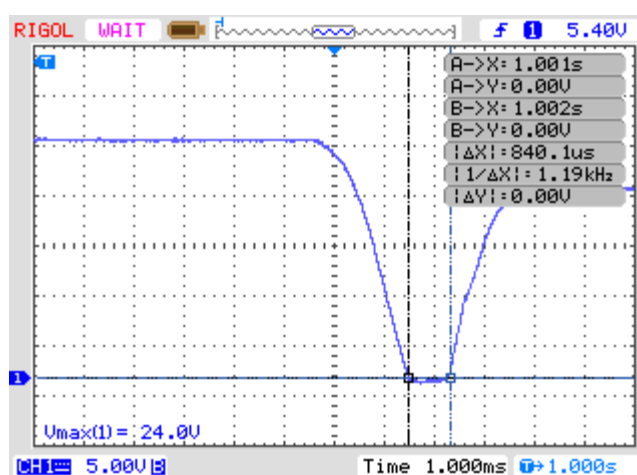
График импульса:



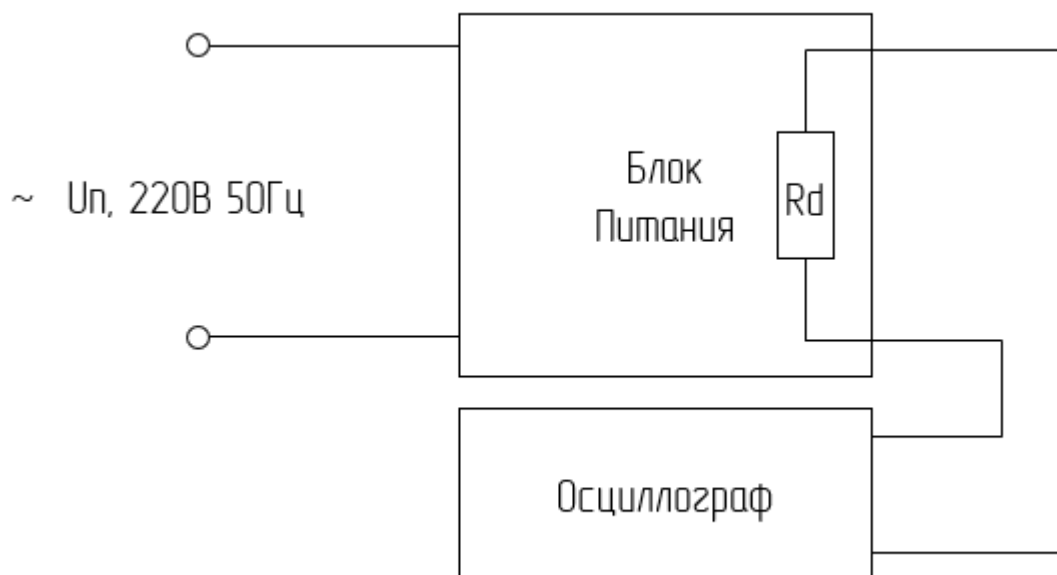
24В

	U_s	R_i	t_d	t_1	t_6	t_r
Стандарт	20 В	$\leq 0,05 \text{ Ом}$	0,2 ~ 2 с	1 мс $\pm 50\%$	1 мс $\pm 50\%$	1 мс $\pm 50\%$
Полученные показания	20 В	0	178 мс	1,36 мс	1,15 мс	640 мкс

График импульса:



Импульс SAEJ1113-11 с выключенной внутренней нагрузкой $R_i = 0 \text{ Ом}$ и $R_n = 0 \text{ Ом}$.



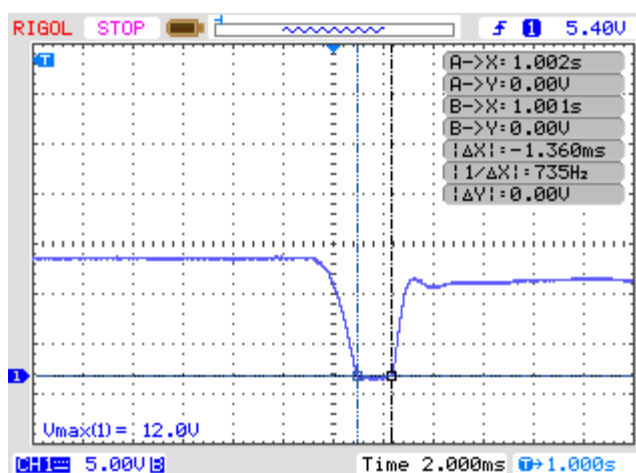
Предустановки для импульсов не изменялись. Из-за особенности импульса, для того чтобы протестировать его без нагрузок, можно включить внутреннюю фиктивную нагрузку (*Load Dummy*). Она используется для увеличения скорости времени спада напряжения для высокоскоростных тестовых приложений. Настройка по умолчанию выключена. Чтобы включить фиктивную нагрузку: *Shift=>P-set=>Config=>Loop-Status=>Load=>On*.

Были получены следующие результаты:

12В

	U_s	R_i	t_d	t_1	t_6	t_r
Стандарт	10 В	$\leq 0,05\ \Omega$	0,2 ~ 2 с	1 мс $\pm 50\%$	1 мс $\pm 50\%$	1 мс $\pm 50\%$
Полученные показания	10,2 В	0	190 мс	720 мкс	1,04 мс	560 мкс

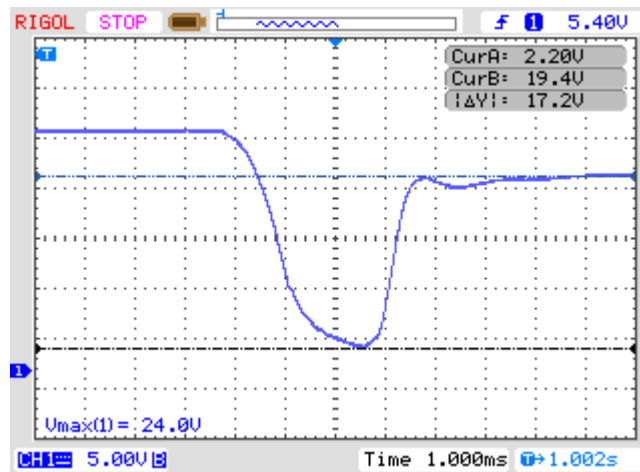
График импульса:



24В

	U_s	R_i	t_d	t_1	t_6	t_r
Стандарт	20 В	$\leq 0,05 \text{ Ом}$	$0,2 \sim 2 \text{ с}$	$1 \text{ мс} \pm 50\%$	$1 \text{ мс} \pm 50\%$	$1 \text{ мс} \pm 50\%$
Полученные показания	20 В	0	178 мс	1,36 мс	-	640 мкс

График импульса:

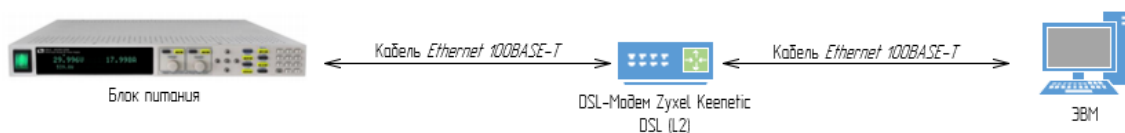


Блок питания проходит тест с подключенной нагрузкой с заваленными характеристиками. Но чтобы снять собственную динамическую характеристику без нагрузки, не хватает времени спада. Поэтому если не включить фиктивную нагрузку, блок питания не достигает 0 В тем самым не формируя промежуток t_6 . После включения улучшается характеристика для 12 В систем, но для 24 В систем напряжение опускается до 2 В на участке t_{12} , и сразу формирует нарастание участка t_r .

Программная часть

Основная задача программной части обзора блока питания состоит в том, чтобы рассмотреть случай удаленного управления блоком питания. Блоки питания этой серии имеют пять стандартных интерфейсов связи: *RS232*, *USB*, *GPIB*, *LAN* и *CAN*. Клиент может выбрать любой из них в соответствии со своими требованиями.

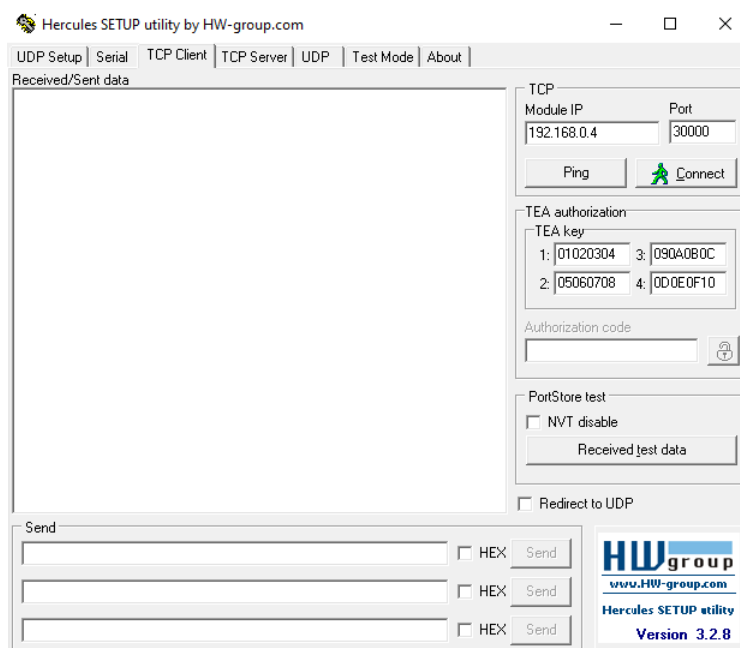
Конкретно в данной работе реализуется сеть, построенная на технологии *LAN* используя протокол *TCP/IP*. Подключение блока питания и ПК происходило через промежуточный маршрутизатор:



Для дальнейшей настройки сети, сначала нужно узнать конфигурацию блока питания, для этого нужно перейти в раздел *Communication: Shift=>P-set=>System=>Communication=>LAN=>Info*.

Рассмотрим пример настройки:

1. На блоке питания проверяем чтобы *IP*-адрес был отличительным от *IP*-адреса подключаемого ПК, а также чтобы он входил в одну локальную сеть. Например, для блока питания адрес – 192.168.0.3, а для ПК 192.168.0.4. Так же стоит обратить на значение маски подсети, чтобы она поддерживало указанное адресное пространство. (по умолчанию значение 255.255.255.0 что соответствует промежутку 192.168.0.1 – 192.168.0.254). Также можно узнать информацию о порте (по умолчанию 30000).
2. На ПК устанавливаем *TCP/IP* клиент, который подключаем к блоку питания который выступает в качестве сервера, прослушивающего установленное соединение. Например, как было сделано в данной работе, на ПК установлен терминал *HERCULES* от разработчика *HW group*. В нем нужно выбрать вкладку *TCP Client* и указать *IP*-адрес блока питания и порт:



После нажать кнопку *connect*, и ожидать успешного подключения к серверу.

Так как в данном случае маршрутизатор выступает в качестве обычного сетевого коммутатора (свитча), то общение в сети происходит на локальном уровне, без выхода в иные сети, поэтому настройка шлюзов не требуется.

Установив связь, как упоминалась ранее блок питания начинает прослушивать указанный порт на наличие поступающих команд *SCPI* (подробнее в приложении А).

Для начала удаленной работы обязательно прописываются следующие команды:

```
System:remote
```

```
TRIGger:SOURce BUS
```

Далее рассмотрим часть удалённого вызова функций, записанных в память блока питания. Корневая команда носит название *carwave*, далее идет наименование стандарта (*ISO16750-2*, *SAEJ1113-11*, *DIN40839*) и после параметры импульса:

ISO16750-2 test A и *B*.

```
carwave:iso16750:load:dump:test amode (импульс A)
```

```
carwave:iso16750:load:dump:test bmode (импульс B)
```

Далее задаем параметры:

```
carwave:iso16750:load:dump:volt 12V или 24V;
```

carwave:iso16750:load:dump:UN 79 (от 79В до 200В)

carwave:iso16750:load:dump:US 58 (для импульса test B)

carwave:iso16750:load:dump:TD 0,04 (время указывается в секундах)

Можно также указать все параметры в одной команде:

carwave:iso16750:load:dump:volt 12V; UN 79; TD 0.04

Рекомендую отсылать команды поочередно, а не комплексной командной, и также проверять наличие ошибки ввода с помощью команды system:error?

Чтобы включить выход и запустить импульс нужно вписать следующие команды:

carwave:iso16750:load:dump:state 1

SOURCE:OUTPut:STATE 1

*TRG

После этого на осциллографе должен появиться выбранный импульс. Также было замечено что при первом вызове любой функции, при вводе команды SOURCE:OUTPut:STATE 1 блок питания включает выход без команды *TRG.

Аналогично вызываются остальные импульсы:

DIN40839

carwave:startup:din40839:volt 12V или 24V

carwave:startup:din40839:state 1

SAEJ1113-11

carwave:sae:2b:volt 12V или 24V;

carwave:sae:2b:td 0.2 (задается пользователем в секундах);

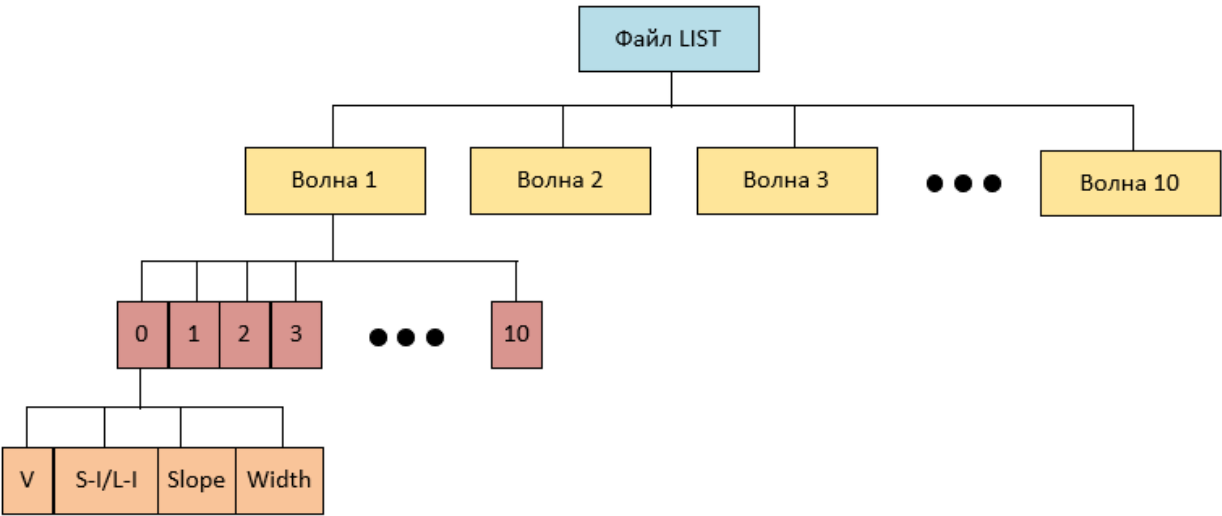
carwave:sae:2b:state 1

Если нужно выбрать другой импульс или поменять параметры текущего, обязательно выключить выход командой SOURCE:OUTPut:STATE 0

Оставшимся пунктом исследования остается обзор импульсов, задаваемых пользователем. Так как параметры тестовых импульсов, записанных в память устройства (*ISO16750-2*, *SAEJ1113-11*, *DIN40839*) можно изменять только в рамках установленными производителем, требуется найти

способ более гибкой настройки величин. Как возможное решение, в работе рассматривается встроенная в блок питания функция *LIST*.

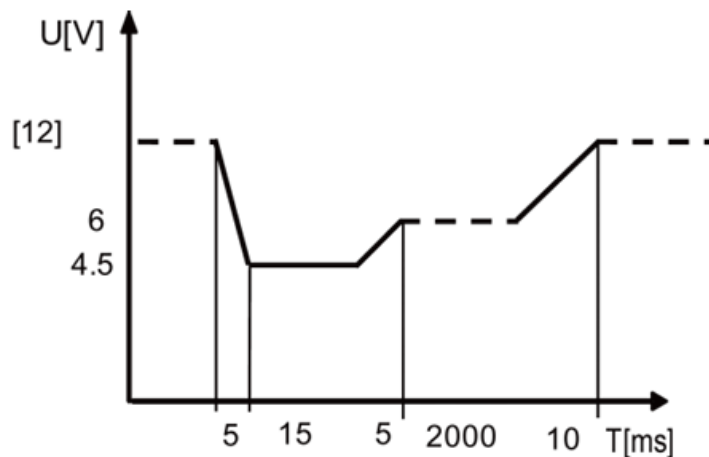
Один файл функции *LIST* имеет следующую структуру:



Режим *LIST* содержит всего 10 файлов (*File1-File10*), и каждый из них содержит 10 волн. Каждая волна содержит 10 шагов. Необходимо отредактировать напряжение (*V*), ток (*S-I/L-I*), ширину (*Width*) импульса и продолжительность нарастание/спада (*Slope*) каждого шага. Каждой волне можно задать повторение (*Repeat*), как и каждый файл списка. Десять волн могут быть связаны последовательно в одном списке. Файл списка может упорядочивать и связывать несколько волн. В этой серии блоков питания можно редактировать не более 100 заготовленных волн.

Разберем алгоритм создания импульса *DIN40839* с помощью функции *LIST*:

Шаг (<i>Step</i>)	Напряжение (<i>V</i>)	Ток (<i>S-I/L-I</i>)	Продолжительность Импульса (<i>Width</i>)	Продолжительнсоть спада/нарастания (<i>Slope</i>)
1	4,5 В	60 А	15 мс	5 мс
2	6 В	60 А	2000 мс	5 мс
3	12 В	60 А		10 мс



1. Самая первая команд, чтобы удаленно можно работать с блоком питания: `SYSTem:REMOte`
2. Проверяем чтобы функция лист была выключена командой `LIST: STATE?` Если же она включена (ответ 1), выключаем командой `LIST: STATE 0`
3. Выбираем нужную волну. В рамках данного примера хватит одной волны с 3 шагами. По порядку прописываем команды:
`SEQuence:EDIT`
`SEQuence:RECall 1`
`SEQuence:STEP:COUNt 3`
4. После редактируем для каждого шага заданные значения амплитуды, тока, продолжительности указанные в таблице выше с помощью команд: `SEQuence:VOLTage` (номер шага), (значение амплитуды). `SEQuence:CURREnt` (номер шага), (значение тока). `SEQuence:WIDTh` (номер шага), (значение продолжительности). `SEQuence:SLOPe` (номер шага), (значение продолжительности). Например для первого шага: `seq:volt 1,4.5; curr 1,60; widt 1,15 ms; slop 1,5 ms; load curr 1,3.`
5. После того как все шаги были заданы, требуется сохранить волну, для этого существует команда: `SEQuence:SAVe 1`
6. Далее нужно присвоить волну к файлу *LIST*. Для этого выполняем следующие команды:
`LIST:EDIT 1`
`LIST:REPeat 1`
`LIST:SEQuence:COUNt 1`
`LIST:SEQuence:SElect 1`
`LIST:SAVe 1`
7. Теперь чтобы воспользоваться импульсом надо прописать следующие команды:
`LIST:RECall 1.`

LIST:STATE 1

8. Далее включаем выход блока питания и переводим режим триггера на пуск по шине:

TRIGger:SOURce BUS.

SOURce:OUTPut:STATE 1

9. Чтобы запустить тестовый импульс нужно написать команду *TRG.

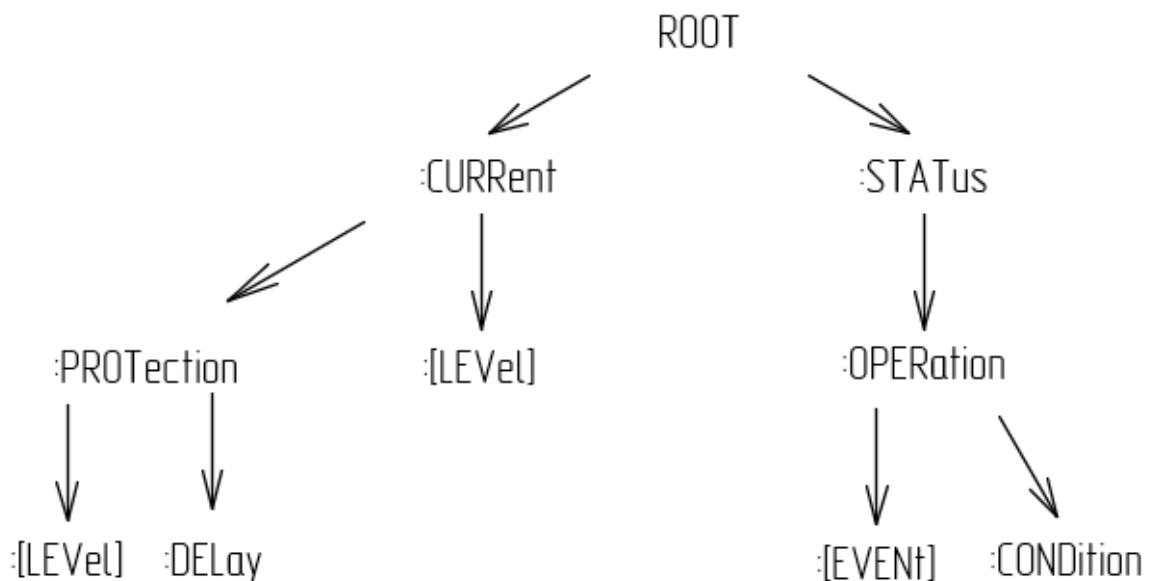
Как итог на экране осциллографа должен появиться импульс повторяющий *test pulse* 4. Если выключить режим *LIST*, можно изменить значения параметров шагов, заданных для волны. Можно также разработать приложение, которое бы просто отсылало уже готовые команды/запросы на блок питания, что сильно упростило управление им. Единственное сомнение вызывает более сложные импульсы, например, как *ISO 16750-2 (Load-Dump) test A* и *B* – блок не всегда справляется с уже записанными в память, так что их реализация через функцию *LIST* ставиться под сомнение.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

SCPI — это сокращение от *Standard Commands for Programmable Instruments*, которое определяет метод связи контроллера шины и прибора. Он основан на ASCII и обеспечивает испытательные и измерительные приборы. Команда *SCPI* основана на иерархической архитектуре, которая также известна как древовидная система. В этой системе соответствующая команда возвращается в общий узел или корень, так что формируется подсистема.

SCPI имеет два типа команд: общие и под системные. Общие команды обычно не связаны с конкретной операцией, а с управлением общими функциями инструмента, такими как сброс, статус и синхронизация. Все общие команды состоят из трехбуквенной мнемоники, которой предшествует звездочка: **RST *IDN? *SRE 8*.

Команды подсистем выполняют определенные функции инструмента. Они организованы в перевернутую древовидную структуру с «корнем» наверху. На следующем рисунке показана часть дерева команд подсистемы, из которого можно получить доступ к командам, расположенным по различным путям.



Для того чтобы получить доступ к командам нижнего уровня, для начала нужно вызвать команды корневого уровня.

Несколько команд *SCPI* можно объединить и отправить как одно сообщение с одним терминатором сообщения. Есть два важных правила при отправке нескольких команд в одном сообщении: использовать точку с запятой для разделения команд в сообщении; пути заголовка влияют на то, как инструмент интерпретирует команды.

Для того чтобы объединить команды одной системы, нужно написать корневой заголовок строки, а далее продолжить указывать параметры без дополнительного вызова корня команды. Пример:

CURR:LEV 3;PROT:STAT OFF

Пример показывает эффект точки с запятой и объясняет концепцию пути заголовка. Поскольку путь заголовка определен как "CURR" после "curr: lev3", заголовок второй команды, "curr", удаляется, и инструмент считывает вторую команду как:

CURR:PROT:STAT OFF

Если "curr" явно включен во вторую команду, это семантически неправильно. Так как объединение его с путем заголовка, например: "CURR:CURR:PROT:STAT OFF", приведет к ошибке.

Чтобы объединить команды из разных подсистем, нужно иметь возможность сбросить путь заголовка на нулевую строку в сообщении. Это можно сделать начиная команду с двоеточия (:), которое отбрасывает любой предыдущий путь заголовка. Например, можно очистить защиту вывода и проверить состояние регистра (*Operation Condition*) в одном сообщении используя корневой спецификатор следующим образом: *PROTection:CLEAr;:STATus:OPERation:CONDition?*

Следующее сообщение показывает, как объединить команды из разных подсистем, а также в пределах одной подсистемы:

POWer:LEVel 200;PROTection 28; :CURRent:LEVel 3;PROTection:STATe ON

Обратите внимание на использование необязательного заголовка *LEVel* для поддержания правильного пути в подсистемах напряжения и тока, а также на использование корневого спецификатора для перемещения между подсистемами.

Можно объединять общие команды с командами подсистем в одном сообщении. Рассмотрим общую команду как единицу сообщения, разделяя ее точкой с запятой (разделитель единиц сообщения). Общие команды не влияют на путь заголовка; можно вставлять их в любое место сообщения.

*VOLTage:TRIGgered 17.5;:INITialize;*TRG*

*OUTPut OFF;*RCL 2*

Общие команды и команды *SCPI* не чувствительны к регистру. Можно использовать заглавные или строчные буквы, например:

**RST = *rst*

Командное слово *SCPI* может быть отправлено в его длинной или короткой форме. Однако короткая форма обозначается заглавными буквами.

Примеры:

:SYSTem:PRESet длинная форма

:SYST:PRES короткая форма

:SYSTem:PRES длинная и короткая комбинация

Обратите внимание, что каждое командное слово должно быть в длинной или короткой форме, а не в полной форме. Например:

SYSTe:PRESe является недопустимым и вызовет ошибку. Команда не будет выполнена.

Соблюдайте следующие меры предосторожности при запросах: устанавливаете правильное количество переменных для возвращаемых данных. Например, если считывается массив измерений, надо задать размер массива в соответствии с количеством измерений, которые помещены в буфер измерений. Считывайте результаты запроса перед отправкой другой команды прибору. В противном случае возникнет ошибка прерывания запроса и невозвращенные данные будут утеряны.

Существует два типа сообщений *SCPI*: программа и ответ.

Программное сообщение состоит из одной или нескольких правильно отформатированных команд *SCPI*, отправляемых клиентом в прибор. Сообщение, которое может быть отправлено в любое время, запрашивает прибор выполнить какое-либо действие.

Ответное сообщение состоит из данных в определенном формате *SCPI*, отправляемых прибором к клиенту. Прибор отправляет сообщение только по команде программного сообщения, называемого «запросом».

Исходя из вышеизложенного материала, можно автоматизировать процесс управления блоком питания, так как большинство команд повторяют действия, которые приходится производить вручную при работе с БП. Например, все ранее исследованные тестовые импульсы можно вызвать с помощью команды *CARWave*. Примечание: важно помнить, что данная функция доступна только для блоков серии 6500с и нужно обращаться к руководству *Highpowered and programmable Power supply IT6500C/D Series Programming Guide*.