

# Функциональные блоки для LTspice

Валентин Володин

[valvolodin@narod.ru](mailto:valvolodin@narod.ru); [valvol@valvol.xyz](mailto:valvol@valvol.xyz)

## Аннотация

SPICE симуляторы (в том числе и LTspice) на удивление универсальные программы, о чем многие пользователи даже не догадываются. Например, в LTspice запросто можно имитировать не только электрические и магнитные процессы, но практически все, что можно описать математически. Если, например, нужно промоделировать процесс распределения тепла в печатной плате с несколькими источниками тепла и охладителями, нет проблем. По крайней мере мне не раз удавалось это сделать, избегая необходимости покупки и освоения специализированных программ. И результаты моделирования хорошо совпадали с реальной картиной. Я об этом говорю для того, чтобы пользователи этой прекрасной программы более творчески подходили к её способностям и не упускали возможности использования её в каждом удобно для этого случае.

## 1. Возможности функционального моделирования

В последнее время профессионалы и любители силовой электроники всё чаще используют в своих проектах различные цифровые и аналогово-цифровые контроллеры. В этом случае возникает необходимость имитации совместной работы программируемых и аналоговых узлов. Многие в этом месте снисходительно ухмыльнутся, подумав, что автор видимо не в курсе о специализированных программах, позволяющих производить подобное моделирование. Тот же Proteus, например. Нет, про существование подобных программ я в курсе и некоторые из них даже использую в своей профессиональной практике. Но, к сожалению, не все могут позволить себе такой софт для личного пользования. К тому же не всегда требуется детальное моделирование на уровне реального программного кода. Зачастую достаточно функционального моделирования, учитывающего работу реальной микросхемы контроллера. Более того, по мере работы в определенном направлении, пользователь накапливает отлаженные программные блоки (модули), из которых очень просто можно компоновать управляющее программное обеспечение для разнообразных нужд. Также производители контроллеров зачастую предлагают пользователям готовые программные модули. В этом случае логично имитировать такие программные модули соответствующими функциональными блоками. Это ускорит процесс моделирования и сделает его более наглядным. А после удачного завершения моделирования, нужно лишь скомпоновать программу в соответствии с полученной функциональной схемой. Получается что-то типа личного функционально-блокового языка высокого уровня. В общем польза от использования функциональных блоков может быть большой. Во многих компьютерных программах, таких как Matlab-Simulink, PowerSim и т. д., функциональные блоки используются достаточно активно. Но ещё за долго до массового использования персональных компьютеров, функциональные блоки прочно обосновались на страницах различной технической литературы, посвящённой автоматическому управлению, электротехнике, радиотехнике и т.п.

Размышляя таким образом, я решил создать специальную библиотеку функциональных блоков для симулятора LTspice.

В данный момент набор функциональных блоков ограничен теми задачами, которые решались с его помощью. Но полагаю, что, по мере использования, этот набор будет только увеличиваться.

Все функциональные блоки созданы в соответствии с определенными правилами. Их не много и вот основные из них:

1. Отсутствие земли (узел 0 или GND) в явном виде. В самом деле, где на функциональных схемах вы видели символ земли? Правильно, нигде. Однако, это правило не сильно жесткое. Многие функциональные блоки (модели микросхем, например) могут оказаться достаточно универсальными для того, чтобы их можно было использовать для стандартного SPICE моделирования. К тому же подразумевается, что все сигналы, обрабатываемые и генерируемые функциональными блоками, все равно прикладываются относительно земли. Поэтому, наличие или отсутствие явной земли у функционального блока определяется лишь удобством и наглядностью.
2. Цифровые сигналы, генерируемые функциональными блоками, имеют уровни 0 и 1 вольт, соответствующие логически нулю и единице. Это достаточно просто осуществить, т. к. логические элементы LTspice имеют такие уровни по умолчанию.

## 2. Перечень функциональных блоков

Архив библиотеки функциональных блоков можно скачать по ссылке [1]. Архив необходимо разархивировать в каталог `..\sym\ValVol\fblocks`, который расположен в общем каталоге библиотек установленной программы LTspiceXVII. Полный путь к этому каталогу обычно выглядит следующим образом:  
`C:\Users\Username\Documents\LTspiceXVII\lib`

На момент создания описания, библиотека содержит 41 функциональный блок.

### 2.1. Блок abc-αβ0

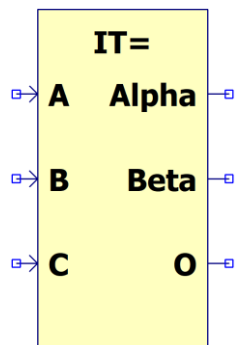


Рис. 1. Компонент **abc-alpha\_beta0**

Функциональный блок **abc-αβ0** представлен схемным компонентом **abc-alpha\_beta0**, изображение которого приведено на рис. 1.

Блок **abc-αβ0** выполняет преобразование 3-х фазной системы координат **ABC** в 2-х фазную **αβ**. В литературе подобное преобразование часто называют преобразованием Кларка (на англ. Clarke Transform), в честь Эдит Кларк.

Блок имеет флаг инвариантности трансформации **IT**, который может иметь два значения **IT=0** и **IT=1**.

Если используется флаг **IT=0**, то производится амплитудно-инвариантное преобразование (сохраняется амплитудное значение):

$$\begin{bmatrix} v_a \\ v_\beta \\ v_0 \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix}, \quad (1a)$$

Если используется флаг **IT=1**, то преобразование производится инвариантно мощности (сохраняется значение мощности):

$$\begin{bmatrix} v_a \\ v_\beta \\ v_0 \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix}, \quad (1б)$$

### 2.2. Блок abc-dq0

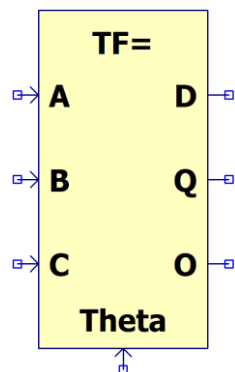


Рис. 2. Компонент **abc-dq0**

Функциональный блок **abc-dq0** представлен схемным компонентом **abc-dq0**, изображение которого приведено на рис. 2.

Блок **abc-dq0** выполняет преобразование между 3-х фазной системой координат **ABC** и вращающейся 2-х фазной системой **DQ0**. Для задания вращения служит вход **Theta** ( $\theta$ ), а угол вращения задается в радианах.

В литературе подобное преобразование часто называют преобразованием Парка (на англ. Park Transform).

Блок имеет флаг трансформации **TF**, который может иметь два значения **TF=0** (ось **q** опережает ось **d**) и **TF=1** (ось **Q** отстает от оси **D**). В зависимости от флага преобразования меняются уравнения преобразования.

Если используется флаг **TF=0**:

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \\ v_o \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos\theta & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ -\sin\theta & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix}, \quad (2a)$$

Если используется флаг **TF=1**:

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \\ v_o \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \sin\theta & \sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\theta & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix}, \quad (26)$$

При этом, в любом случае производится амплитудно-инвариантное преобразование. То есть, амплитуда вектора в 2-х фазной системе **DQ0** равна амплитуде вектора в 3-х фазной системы **ABC**.

### 2.3. Блок abc-svpwm

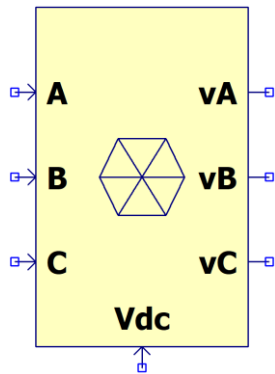


Рис. 3. Компонент **abc-svpwm**

Функциональный блок **abc-svpwm** представлен схемным компонентом **abc-svpwm**, изображение которого приведено на рис. 3.

Блок **abc-svpwm** используется для формирования сигнала пространственно-векторной модуляции из 3-х фазного сигнала **ABC**.

Для 100% модуляции, напряжение на входе **Vdc** должно в  $\sqrt{3}$  раза превышать амплитуду сигнала на входах **A, B, C**. В этом случае амплитуда сигнала на выходах **vA, vB, vC** равна 1 В. Амплитуда пространственно-векторного сигнала обратно пропорциональна напряжению на входе **Vdc**. Это позволяет использовать вход **Vdc** для автоматической компенсации влияния напряжения шины постоянного тока 3-х фазного инвертора на его выходное напряжение.

### 2.4. Блок αβ-dq

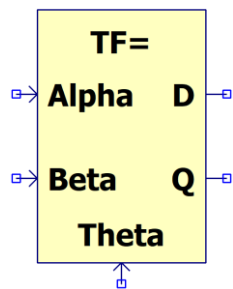


Рис. 4. Компонент **alpha\_beta-dq**

Функциональный блок **αβ-dq** представлен схемным компонентом **alpha\_beta-dq**, изображение которого приведено на рис. 4.

Блок **αβ-dq** выполняет преобразование между 2-х фазной системой координат **αβ** и вращающейся 2-х фазной системой **DQ**. Для задания вращения служит вход **Theta** ( $\theta$ ), а угол вращения задается в радианах.

В литературе подобное преобразование часто называют преобразованием системы координат Кларка в систему координат Парка (на англ. Clarke to Park Angle Transform).

Блок имеет флаг трансформации **TF**, который может иметь два значения **TF=0** (ось **Q**

опережает ось **D**) и **TF=1** (ось **Q** отстает от оси **D**). В зависимости от флага преобразования меняются уравнения преобразования.

Если используется флаг **TF=0**.

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix}, \quad (3a)$$

Если используется флаг **TF=1**.

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin\theta & -\cos\theta \\ \cos\theta & \sin\theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix}, \quad (36)$$

При этом, в любом случае производится амплитудно-инвариантное преобразование. То есть, амплитуда вектора в 2-х фазной системе **DQ** равна амплитуде вектора в 2-х фазной системе **αβ**.

## 2.5. Блок αβ-svpwm

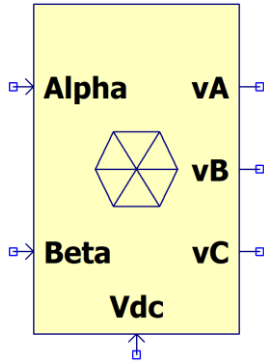


Рис. 5. Компонент **alpha\_beta-svpwm**

Функциональный блок **αβ-svpwm** представлен схемным компонентом **alpha\_beta-svpwm**, изображение которого приведено на рис. 5.

Блок **alpha\_beta-svpwm** используется для формирования сигнала пространственно-векторной модуляции из 2-х фазного сигнала **αβ**.

Для 100% модуляции, напряжение на входе  $V_{dc}$  должно в  $\sqrt{3}$  раза превышать амплитуду сигнала на входах Alpha и Beta. В этом случае амплитуда сигнала на выходах vA, vB, vC равна 1 В. Амплитуда пространственно-векторного сигнала обратно пропорциональна напряжению на входе  $V_{dc}$ . Это позволяет использовать вход  $V_{dc}$  для автоматической компенсации влияния напряжения шины постоянного тока 3-х фазного инвертора на его выходное напряжение.

## 2.6. Блок αβ0-abc

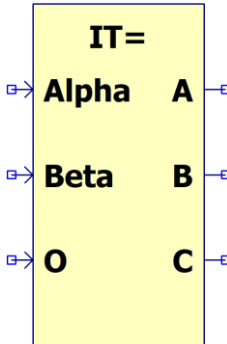


Рис. 6. Компонент **alpha\_beta0-abc**

Функциональный блок **αβ0-abc** представлен схемным компонентом **alpha\_beta0-abc**, изображение которого приведено на рис. 6.

Блок **alpha\_beta0-abc** выполняет преобразование 2-х фазной системы координат **αβ0** в 3-х фазную **ABC**. В литературе подобное преобразование часто называют обратным преобразованием Кларка.

Блок имеет флаг инвариантности трансформации **IT**, который может иметь два значения **IT=0** и **IT=1**.

Если используется флаг **IT=0**, то производится амплитудно-инвариантное преобразование (сохраняется амплитудное значение):

$$\begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \\ v_0 \end{bmatrix}, \quad (4a)$$

Если используется флаг **IT=1**, то преобразование производится инвариантно мощности (сохраняется значение мощности).

$$\begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \\ v_0 \end{bmatrix}, \quad (4b)$$

## 2.7. Блок atan2g

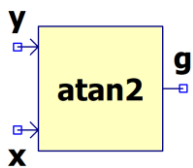


Рис. 7. Компонент **atan2g**

Функциональный блок **atan2g** представлен схемным компонентом **atan2g**, изображение которого приведено на рис. 7.

Блок **atan2g** является вычислителем четырехквadrантного арктангенса отношения  $y/x$ .

Выходной угловой сигнал блока выводится в градусах.

## 2.8. Блок atan2r

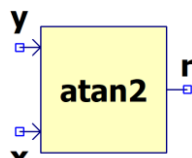


Рис. 8. Компонент **atan2r**

Функциональный блок **atan2r** представлен схемным компонентом **atan2r**, изображение которого приведено на рис. 8.

Блок **atan2r** является вычислителем четырехквadrантного арктангенса отношения  $y/x$ .

Выходной угловой сигнал блока выводится в радианах.

## 2.9. Блок cos

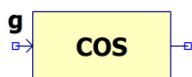


Рис. 9. Компонент **cos**

Функциональный блок **cos** представлен схемным компонентом **cos**, изображение которого приведено на рис. 9.

Блок **cos** является вычислителем косинуса. Входной угловой сигнал блока вводится в градусах.

## 2.10. Блок cosr

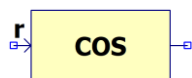


Рис. 10. Компонент **cosr**

Функциональный блок **cosr** представлен схемным компонентом **cosr**, изображение которого приведено на рис. 10.

Блок **cosr** является вычислителем косинуса. Входной угловой сигнал блока вводится в радианах.

## 2.11. Блок Δ/Y

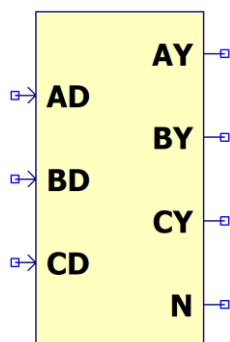


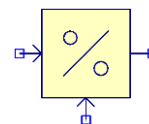
Рис. 11. Компонент **delta-line**

Функциональный блок  $\Delta/Y$  представлен схемным компонентом **delta-line**, изображение которого приведено на рис. 11.

Блок  $\Delta/Y$  является преобразователь “треугольник-звезда”. Этот блок позволяет преобразовать 3-х фазную сеть без нейтрали в эквивалентную ей 3-х фазную сеть с нейтральным проводом.

## 2.12. Блок div

Рис. 12. Компонент **div**



Функциональный блок **div** представлен схемным компонентом **div**, изображение которого приведено на рис. 12.

Выход блока **div** является результатом деления значения, приведенного к левому входу (делимое), на значение, приведенное к нижнему входу (делитель).

## 2.13. Блок dq-αβ

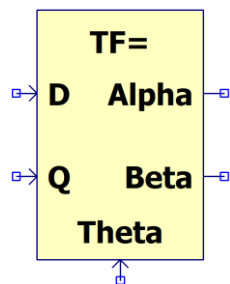


Рис. 13. Компонент **dq-alpha\_beta**

Функциональный блок **dq-αβ** представлен схемным компонентом **dq-alpha\_beta**, изображение которого приведено на рис. 13.

Блок **dq-αβ** выполняет преобразование между вращающейся 2-х фазной системой координат **DQ** и 3-х фазной системой **ABC**. Для задания вращения служит вход **Theta** ( $\theta$ ), а угол вращения задается в радианах.

Блок имеет флаг трансформации **TF**, который может иметь два значения **TF=0** (ось **Q** опережает ось **D**) и **TF=1** (ось **Q** отстает от оси **D**). Соответственно, в зависимости от флага преобразования, меняются уравнения преобразования.

Если используется флаг **TF=0**.

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin\theta & \cos\theta \\ -\cos\theta & \sin\theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix}, \quad (5a)$$

Если используется флаг **TF=1**.

$$\begin{bmatrix} v_a \\ v_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix}, \quad (56)$$

## 2.14. Блок dq0-abc

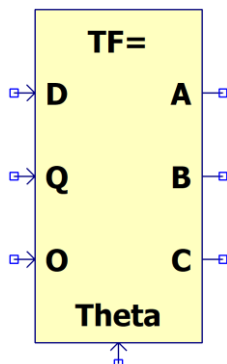


Рис. 14. Компонент **dq0-abc**

Функциональный блок **dq0-abc** представлен схемным компонентом **dq0-abc**, изображение которого приведено на рис. 14.

Блок **dq0-abc** выполняет преобразование между вращающейся 2-х фазной системой координат **DQ0** и 3-х фазной системой **ABC**. Для задания вращения служит вход **Theta** ( $\theta$ ), а угол вращения задается в радианах.

В литературе подобное преобразование часто называют обратным преобразованием Парка.

Блок имеет флаг трансформации **TF**, который может иметь два значения **TF=0** (ось **Q** опережает ось **D**) и **TF=1** (ось **Q** отстает от оси **D**). Соответственно, в зависимости от флага преобразования, меняются уравнения преобразования.

Если используется флаг **TF=0**:

$$\begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 1 \\ \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & 1 \\ \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_d \\ v_q \\ v_o \end{bmatrix}, \quad (6a)$$

Если используется флаг **TF=1**.

$$\begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin\theta & \cos\theta & 1 \\ \sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & 1 \\ \sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_d \\ v_q \\ v_o \end{bmatrix}, \quad (6b)$$

## 2.15. Блок fourier

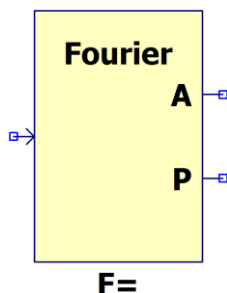


Рис. 15. Компонент **fourier**

Функциональный блок **fourier** представлен схемным компонентом **fourier**, изображение которого приведено на рис. 15.

Блок **fourier** выполняет классическое преобразование Фурье.

Параметры настройки компонента **fourier** перечислены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры настройки компонента **fourier**

Параметр	Описание
F	Основная частота, Гц

Амплитуда синусной составляющей основной частоты находится по формуле:

$$A_{\sin} = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cdot \sin(2\pi \cdot F \cdot t) dt, \quad (7a)$$

Где:

$T = \frac{1}{F}$  - период интегрирования, равный длительности периода основной частоты;

$f(t)$  - сигнал, подаваемый на вход блока **fourier**.

Амплитуда косинусной составляющей основной частоты находится по формуле:

$$A_{\cos} = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cdot \cos(2\pi \cdot F \cdot t) dt, (7б)$$

Амплитуда основной частоты выводится на выход **A** и находится по формуле:

$$A = \sqrt{A_{\sin}^2 + A_{\cos}^2}, (7в)$$

Величина фазового сдвига основной частоты, в радианах, выводится на выход **P** и находится по формуле:

$$\varphi = \arctg \frac{A_{\cos}}{A_{\sin}}, (7г)$$

## 2.16. Блок **fourier\_pd**

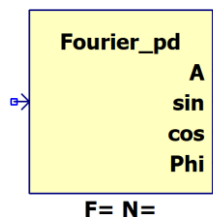


Рис. 16. Компонент **fourier\_pd**

Функциональный блок **fourier\_pd** представлен схемным компонентом **fourier\_pd**, изображение которого приведено на рис. 16.

Блок **fourier\_pd**, в отличие от блока **fourier**, выполняет преобразование Фурье на скользящем интервале. Благодаря этому, блок **fourier\_pd** может осуществлять скользящее синхронное детектирование с частотой синхронного детектора (гетеродина) **F**.

Параметры настройки компонента **fourier\_pd** перечислены в таблице 2.

Таблица 2. Параметры настройки компонента **fourier\_pd**

Параметр	Описание
N	Число периодов усреднения
F	Основная частота, Гц

Амплитуда синусной составляющей основной частоты выводится на выход **sin** и находится по формуле:

$$A_{\sin} = \frac{2}{T} \int_{t-T}^t f(t) \cdot \sin(2\pi \cdot F \cdot t) dt, (8а)$$

Где:

$T = \frac{N}{F}$  - интервал усреднения, равный целому числу  $N$  периодов основной частоты;

$f(t)$  - сигнал, подаваемый на вход блока **fourier\_pd**.

Амплитуда косинусной составляющей основной частоты выводится на выход **cos** и находится по формуле:

$$A_{\cos} = \frac{2}{T} \int_{t-T}^t f(t) \cdot \cos(2\pi \cdot F \cdot t) dt, (8б)$$

Амплитуда основной частоты выводится на выход **A** и находится по формуле:

$$A = \sqrt{A_{\sin}^2 + A_{\cos}^2}, (8в)$$

Фазовый сдвиг основной частоты выводится в радианах на выход **Phi** и находится по формуле:

$$\varphi = \arctg \frac{A_{\cos}}{A_{\sin}}, (8г)$$

✓ Функциональный блок **fourier\_pd** создал и прислал **Кубов Владимир**.

## 2.17. Блок **idt\_ir**

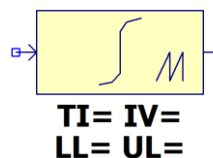


Рис. 17. Компонент **idt\_ir**

Функциональный блок **idt\_ir** представлен схемным компонентом **idt\_ir**, изображение которого приведено на рис. 17.

Параметры настройки компонента **idt\_ir** перечислены в таблице 3.

Таблица 3. Параметры настройки компонента **idt\_ir**

Параметр	Описание
TI	Постоянная времени интегратора, сек.
IV	Начальное состояние интегратора, В
LL	Нижний предельный уровень, В
UL	Верхний предельный уровень, В

Блок **idt\_ir** представляет собой интегратор с внутренним сбросом. Т.е. интегратор сбрасывается в начальное состояние, если уровень на его выходе достигает верхнего **UL** или нижнего **LL** порогового уровня. Передаточная функция интегратора описывается следующим операторным уравнением:

$$W(s) = \frac{1}{s \cdot T_I}, \tag{7}$$

### 2.18. Блок idt\_r

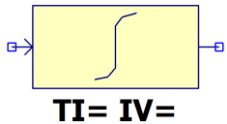


Рис. 18. Компонент **idt\_r**

Функциональный блок **idt\_r** представлен схемным компонентом **idt\_r**, изображение которого приведено на рис. 18. Параметры настройки компонента **idt\_r** перечислены в таблице 4.

Таблица 4. Параметры настройки компонента **idt\_r**

Параметр	Описание
TI	Постоянная времени интегратора, сек.
IV	Начальное состояние интегратора, В

Блок **idt\_r** представляет собой интегратор без внутреннего сброса. Передаточная функция интегратора описывается уравнением (7).

### 2.19. Блок igbt

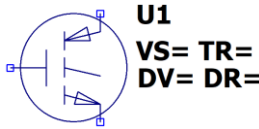


Рис. 19. Компонент **igbt**

Функциональный блок **igbt** представлен схемным компонентом **igbt**, изображение которого приведено на рис. 19. Этот блок представляет собой идеальный **igbt** с антипараллельным диодом.

Транзистор открыт, если на его затвор подан уровень 1 вольт и закрыт, если на затвор подан ноль. Параметры настройки компонента **igbt** перечислены в таблице 5.

Таблица 5. Параметры настройки компонента **igbt**

Параметр	Описание
VS	Напряжение насыщения открытого транзистора, В
TR	Сопротивление открытого транзистора, Ом
DV	Падение напряжение на антипараллельном диоде, В
DR	Сопротивление антипараллельного диода, В

**Примечание:** Управляющие уровни прикладываются относительно земли, а не относительно эмиттера транзистора.

### 2.20. Блок isent



Рис. 20. Компонент **isen**

Функциональный блок **isen** представлен схемным компонентом **isen**, изображение которого приведено на рис. 20. Блок **isen** представляет собой изолированный датчик тока. Единственный параметр **K** этого блока определяет его коэффициент передачи. На выходе блока присутствует положительный уровень, если ток втекает в вывод, отмеченный точкой.

### 2.21. Блок limiter

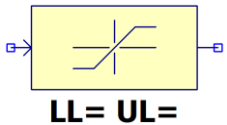


Рис. 21. Компонент **limiter**

Функциональный блок **limiter** представлен схемным компонентом **limiter**, изображение которого приведено на рис. 21. Параметры настройки компонента **limiter** перечислены в таблице 6.

Таблица 6. Параметры настройки компонента **limiter**

Параметр	Описание
LL	Нижний уровень ограничения, В
UL	Верхний уровень ограничения, В



Блок **limiter** имеет единичный коэффициент передачи, но фиксирует выходной сигнал на нижнем **LL** или верхнем **UL** уровне ограничения, если входной сигнал ниже или выше этих уровней.

### 2.22. Блок lpf1

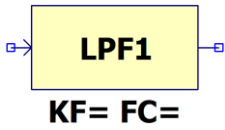


Рис. 22. Компонент lpf1

Функциональный блок **lpf1** представлен схемным компонентом **lpf1**, изображение которого приведено на рис. 22. Параметры настройки компонента **lpf1** перечислены в таблице 7.

Таблица 7. Параметры настройки компонента lpf1

Параметр	Описание
KF	Коэффициент передачи
FC	Частота среза фильтра, Гц

Блок **lpf1** представляет из себя фильтр нижних частот первого порядка с передаточной функцией:

$$W(s)=K_F\frac{\omega_c}{s+\omega_c},\;(8)$$

где  $\omega_c=2\cdot\pi\cdot F_C$  - круговая частота среза.

### 2.23. Блок lpf2

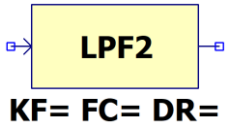


Рис. 23. Компонент lpf2

Функциональный блок **lpf2** представлен схемным компонентом **lpf2**, изображение которого приведено на рис. 23. Параметры настройки компонента **lpf2** перечислены в таблице 8.

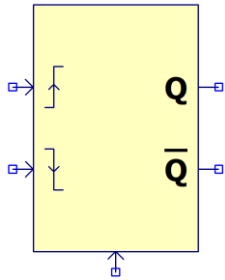
Таблица 8. Параметры настройки компонента lpf2

Параметр	Описание
KF	Коэффициент передачи
FC	Частота среза фильтра, Гц
DR	Коэффициенты демпфирования

Блок **lpf2** представляет из себя фильтр нижних частот второго порядка с передаточной функцией:

$$G(s)=K_F\frac{\omega_c^2}{s^2+s\cdot2\cdot Dr\cdot\omega_c+\omega_c^2},\;(9)$$

где  $\omega_c=2\cdot\pi\cdot F_C$  - круговая частота среза.



### 2.24. Блок mono2

Рис. 24. Компонент mono2

Функциональный блок **mono2** представлен схемным компонентом **mono2**, изображение которого приведено на рис. 24. Блок **mono2** представляет из себя одновибратор с настраиваемой шириной генерируемого импульса.

Ширина импульса равна напряжению внешнего сигнала, подаваемого на нижний вход блока. В зависимости от задействованных входов одновибратора, его запуск может производиться по фронту и/или срезу входного сигнала.

### 2.25. Блок mosfet

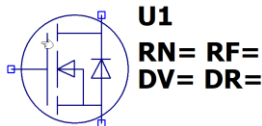


Рис. 25. Компонент mosfet

Функциональный блок **mosfet** представлен схемным компонентом **mosfet**, изображение которого приведено на рис. 25. Этот блок представляет собой идеальный mosfet с антипараллельным диодом.

Транзистор открыт, если на его затвор подан уровень 1 вольт и закрыт, если на затвор подан ноль.

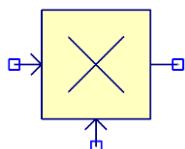
Параметры настройки компонента **mosfet** перечислены в таблице 9.

**Таблица 9.** Параметры настройки компонента **mosfet**

Параметр	Описание
RN	Сопротивление открытого транзистора, Ом
RF	Сопротивление закрытого транзистора, Ом
DV	Падение напряжение на антипараллельном диоде, В
DR	Сопротивление антипараллельного диода, В

**Примечание:** Управляющие уровни прикладываются относительно земли, а не относительно истока транзистора.

## 2.26. Блок mult

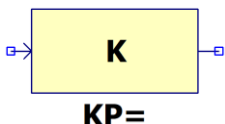


**Рис. 26.** Компонент **mult**

Функциональный блок **mult** представлен схемным компонентом **mult**, изображение которого приведено на рис. 26.

Выход блока **mult** является результатом умножения значения, приведенного к левому входу, на значение, приведенное к нижнему входу.

## 2.27. Блок pc



**Рис. 27.** Компонент **pc**

Функциональный блок **pc** представлен схемным компонентом **pc**, изображение которого приведено на рис. 27.

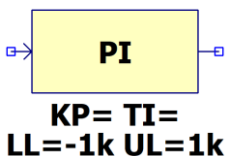
Блок **pc** позволяет умножать входное значение на некий фиксированный коэффициент **KP**.

Этот блок может использоваться в качестве пропорционального регулятора.

Пропорциональный регулятор имеет следующую передаточную функцию:

$$W(s) = K_p, \quad (10)$$

## 2.28. Блок pi



**Рис. 28.** Компонент **pi**

Функциональный блок **pi** представлен схемным компонентом **pi**, изображение которого приведено на рис. 28.

Параметры настройки компонента **pi** перечислены в таблице 10.

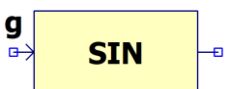
**Таблица 10.** Параметры настройки компонента **pi**

Параметр	Описание
KP	Коэффициент передачи
TI	Постоянная интегрирования, с
LL	Нижний уровень ограничения, В
UL	Верхний уровень ограничения, В

Блок **pi** представляет из себя пропорционально-интегральный регулятор. Выход регулятора можно ограничить снизу и сверху при помощи параметров **LL** и **UL**. Пропорционально-интегральный регулятор имеет следующую передаточную функцию:

$$W(s) = \frac{K_p \cdot (1 + s \cdot T_I)}{s \cdot T_I}, \quad (11)$$

## 2.29. Блок sin

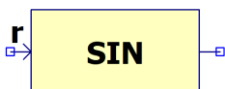


**Рис. 29.** Компонент **sin**

Функциональный блок **sin** представлен схемным компонентом **sin**, изображение которого приведено на рис. 29.

Блок **sin** является вычислителем синуса. Входной угловой сигнал блока вводится в градусах.

## 2.30. Блок sinr



**Рис. 30.** Компонент **sinr**

Функциональный блок **sinr** представлен схемным компонентом **sinr**, изображение которого приведено на рис. 30.

Блок **sinr** является вычислителем синуса. Входной угловой сигнал блока вводится в радианах.

### 2.31. Блок sqrt

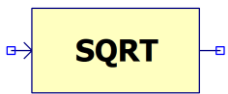


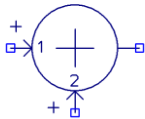
Рис. 31. Компонент **sqrt**

Функциональный блок **sqrt** представлен схемным компонентом **sqrt**, изображение которого приведено на рис. 31.

Блок **sqrt** является вычислителем квадратного корня.

### 2.32. Блок sum

**K1=1 K2=1** Рис. 32. Компонент **sum**



Функциональный блок **sum** представлен схемным компонентом **sum**, изображение которого приведено на рис. 32.

Параметры настройки компонента **sum** перечислены в таблице 11. Выходной сигнал блока **sum** является суммой сигналов входа1 и входа2.

Таблица 11. Параметры настройки компонента **sum**

Параметр	Описание	По умолчанию
K1	Коэффициент передачи по входу 1	1
K2	Коэффициент передачи по входу 2	1

### 2.33. Блок tab6x5

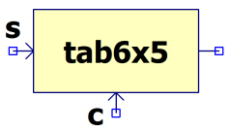


Рис. 33. Компонент **tab6x5**

Функциональный блок **tab6x5** представлен схемным компонентом **tab6x5**, изображение которого приведено на рис. 33.

Блок **tab6x5** представляет собой таблицу значений, упакованных в матрицу 6x5 (6 строк и 5 столбцов). Выбор табличного значения осуществляется подачей соответствующих напряжений на входы **s** (строки) и **c** (столбки). Например, для выборки значения, расположенного на пересечении 3-й строки и 4-й колонки (S34), необходимо на вход **s** подать 3 вольт, а на вход **c** 4 вольт. Эти напряжения должны быть установлены с точностью не хуже  $\pm 0.1$  вольт.

**Примечание:** Если напряжение на входах **s** или **c** выходит из допустимого диапазона, на выходе таблицы продолжает оставаться последнее корректно выбранное значение.

### 2.34. Блок tab6x7

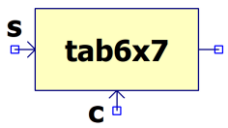


Рис. 34. Компонент **tab6x7**

Функциональный блок **tab6x7** представлен схемным компонентом **tab6x7**, изображение которого приведено на рис. 34.

Блок **tab6x7** представляет собой таблицу значений, упакованных в матрицу 6x7 (6 строк и 7 столбцов). Выбор табличного значения осуществляется подачей соответствующих напряжений на входы **s** (строки) и **c** (столбки). Например, для выборки значения, расположенного на пересечении 3-й строки и 4-й колонки (S34), необходимо на вход **s** подать 3 вольт, а на вход **c** 4 вольт. Эти напряжения должны быть установлены с точностью не хуже  $\pm 0.1$  вольт.

**Примечание:** Если напряжение на входах **s** или **c** выходит из допустимого диапазона, на выходе таблицы продолжает оставаться последнее корректно выбранное значение.

### 2.35. Блок tdel

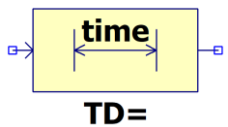


Рис. 35. Компонент **tdel**

Функциональный блок **tdel** представлен схемным компонентом **tdel**, изображение которого приведено на рис. 35.

Блок **tdel** передает входной сигнал на выход без изменения, но с задержкой времени. Величина задержки времени определяется при помощи параметра **TD**.

### 2.36. Блок tfcn

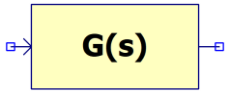


Рис. 36. Компонент **tfcn**

Функциональный блок **tfcn** представлен схемным компонентом **tfcn**, изображение которого приведено на рис. 36.

Параметры настройки компонента **tfcn** перечислены в таблице 12.

Таблица 12. Параметры настройки компонента **tfcn**

Параметр	Описание
K	Общий коэффициент передачи
B0...B4	Коэффициенты полинома числителя
A0...A4	Коэффициенты полинома знаменателя

Блок **tfcn** позволяет создать произвольную дробно-рациональную передаточную функцию 4-го порядка (или ниже). Результирующая передаточная функция будет иметь следующий вид:

$$W(s) = K \cdot \frac{B_0 + B_1s + B_2s^2 + B_3s^3 + B_4s^4}{A_0 + A_1s + A_2s^2 + A_3s^3 + A_4s^4}, \quad (12)$$

Если требуется передаточная функция более низкого порядка, то лишние коэффициенты приравниваются к нулю.

### 2.37. Блок v3f

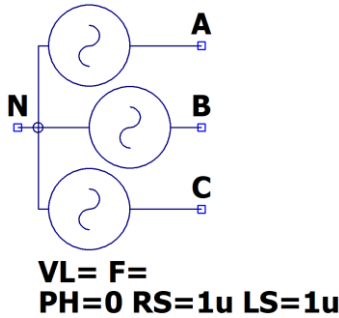
Рис. 37. Компонент **v3f**

Функциональный блок **v3f** представлен схемным компонентом **v3f**, изображение которого приведено на рис. 37.

Параметры настройки компонента **v3f** перечислены в таблице 13.

Таблица 13. Параметры настройки компонента **v3f**

Параметр	Описание	По умолчанию
VL	Действующее линейное напряжение, В	-
F	Частота, Гц	-
PH	Общий фазовый сдвиг, градусы	0
RS	Сопротивление фазы, Ом	1 мкОм
LS	Индуктивность фазы, Гн	1 мкГн



Блок **v3f** представляет из себя источник трехфазного напряжения с нейтральным проводом.

### 2.38. Блок vsen

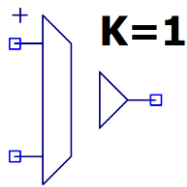


Рис. 38. Компонент **vsen**

Функциональный блок **vsen** представлен схемным компонентом **vsen**, изображение которого приведено на рис. 38.

Блок **vsen** представляет собой изолированный датчик напряжения. Единственный параметр **K** этого блока определяет его коэффициент передачи. На выходе блока присутствует положительный уровень, если входное напряжение приложена в соответствии с полярностью измерительных входов.

### 2.39. Блок vst

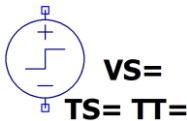


Рис. 39. Компонент **vst**

Функциональный блок **vst** представлен схемным компонентом **vst**, изображение которого приведено на рис. 39.

Параметры настройки компонента **vst** перечислены в таблице 14.

Таблица 14. Параметры настройки компонента **vst**

Параметр	Описание	По умолчанию
VS	Высота скачка напряжения, В	-
TS	Время начала скачка, сек	-
TT	Длительность фронта скачка, сек	-

Блок **vst** представляет из себя генератор скачка (ступени) напряжения.

## 2.40. Блок **vtm**



Рис. 40. Компонент **vtm**

Функциональный блок **vtm** представлен схемным компонентом **vtm**, изображение которого приведено на рис. 40.

Параметры настройки компонента **vtm** перечислены в таблице 15.

Таблица 15. Параметры настройки компонента **vtm**

Параметр	Описание	По умолчанию
ST	Момент старта, сек	0

Блок **vtm** представляет из себя генератор напряжения пропорционального времени.

## 2.41. Блок **vtr**



Рис. 41. Компонент **vtr**

Функциональный блок **vtr** представлен схемным компонентом **vtr**, изображение которого приведено на рис. 41.

Параметры настройки компонента **vtr** перечислены в таблице 16.

Таблица 16. Параметры настройки компонента **vtr**

Параметр	Описание	По умолчанию
Vpp	Размах треугольного напряжения (от пика до пика), В.	-
F	Частота, Гц	-
D	Относительная длительность нарастающей части.	-
DCoff	Смещение нижнего края треугольного напряжения, В.	0
Tst	Время запуска, сек.	0

Блок **vtr** представляет из себя генератор треугольного или пилообразного напряжения.

## 2.42. Блок **zoh**

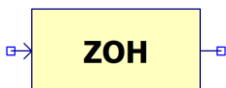


Рис. 42. Компонент **zoh**

**TD=0 KP=1 FS=**

Функциональный блок **zoh** представлен схемным компонентом **zoh**, изображение которого приведено на рис. 42.

Параметры настройки компонента **zoh** перечислены в таблице 17.

Таблица 17. Параметры настройки компонента **zoh**

Параметр	Описание	По умолчанию
TD	Время начала первой выборки, сек.	0
KP	Коэффициенты передачи блока.	1
FS	Частота следования выборок.	-

Блок **zoh** представляет из себя фиксатор нулевого порядка (zero-order hold) или, по-простому, схему выборки-хранения. Этот блок можно использовать для имитации узла АЦП цифрового контроллера.

## 3. Примеры

В архиве библиотеки функциональных блоков, в папке Examples, есть несколько файлов демонстрационных моделей:

- 3-phase grid-link inverter with solar panel.asc – трехфазный инвертор ведомый сетью;
- Phase Lock Loop in ABC-DQO.asc – система фазовой автоподстройки частоты для 3-х фазной сети;
- Phase-Lock Loop.asc – система фазовой автоподстройки частоты для однофазной сети;
- space\_vector\_pwm.asc – система пространственно-векторной модуляции.

## **Информационные источники:**

1. <http://valvol.xyz/soft/fblocks.zip>