

**Начиная с  
V2.10.0-pre0-3812-g8fb7cb5081, 09 Oct  
2023**

# Contents

<b>1 About LinuxCNC</b>	<b>1</b>
1.1 The Software	1
1.2 The Operating System	2
1.3 Getting Help	2
1.3.1 IRC	2
1.3.2 Mailing List	2
1.3.3 Web Forum	3
1.3.4 LinuxCNC Wiki	3
1.3.5 Bug Reports	3
<b>2 System Requirements</b>	<b>4</b>
2.1 Минимальные требования	4
2.2 Требования к ядру и версии	5
2.2.1 Preempt-RT с пакетом «linuxcnc-uspace»	5
2.2.2 RTAI с пакетом «linuxcnc»	5
2.2.3 Xenomai с пакетом «linuxcnc-uspace»	5
2.2.4 RTAI с пакетом «linuxcnc-uspace»	5
2.3 Проблемное оборудование	6
2.3.1 Ноутбуки	6
2.3.2 Видеокарты	6
<b>3 Получение LinuxCNC</b>	<b>7</b>
3.1 Загрузка образа	7
3.1.1 Обычная загрузка	7
3.1.2 Загрузка с помощью zsync	8
3.1.3 Проверка образа	8
3.2 Запишите образ на загрузочное устройство	9
3.2.1 Raspberry Pi Образ	9
3.2.2 AMD-64 (x86-64, PC) Образ использующий инструменты ГИП	9
3.2.3 Командная строка - Linux	9

---

---

3.2.4 Командная строка - MacOS	9
3.3 Тестирование LinuxCNC	10
3.4 Установка LinuxCNC	11
3.5 Updates to LinuxCNC	11
3.6 Проблемы с установкой	11
3.7 Альтернативные методы установки	11
3.7.1 Установка на Debian Bookworm (с ядром Preempt-RT)	12
3.7.2 Установка на Debian Bookworm (с экспериментальным ядром RTAI)	13
3.7.3 Установка на Raspbian 12	13
<b>4 Running LinuxCNC</b>	<b>14</b>
4.1 Вызов LinuxCNC	14
4.2 Configuration Launcher	14
4.3 Следующие шаги по настройке	17
4.4 Конфигурации симулятора	17
4.5 Ресурсы по настройке	17
<b>5 Updating LinuxCNC</b>	<b>19</b>
5.1 Обновление до новой версии	19
5.1.1 Конфигурация источников Apt	20
5.1.2 Обновление до новой версии	21
5.1.2.1 Debian Buster, Bullseye and Bookworm	22
5.1.3 Ubuntu	22
5.2 Обновление без сети	22
5.3 Обновление файлов конфигурации для версии 2.9	23
5.3.1 Более строгое обращение с подключаемыми интерпретаторами	23
5.3.2 Canterp	23
5.4 Обновление файлов конфигурации (для 2.9.y)	23
5.4.1 Ограничения шпинделя в INI	23
5.5 Новые компоненты HAL	24
5.5.1 Не в реальном времени	24
5.5.2 В реальном времени	24
5.6 Новые драйверы	24
<b>6 Glossary</b>	<b>25</b>
<b>7 Legal Section</b>	<b>31</b>
7.1 Copyright Terms	31
7.2 GNU Free Documentation License	31

---

Команда LinuxCNC



Работа над этим справочником продолжается. Если вы можете помочь с написанием, редактированием или подготовкой графики, пожалуйста, свяжитесь с любым членом команды авторов или присоединитесь и отправьте электронное письмо по адресу [emc-users@lists.sourceforge.net](mailto:emc-users@lists.sourceforge.net).

Copyright © 2000-2020 LinuxCNC.org

Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.1 or any later version published by the Free Software Foundation; with no Invariant Sections, no Front-Cover Texts, and no Back-Cover Texts. A copy of the license is included in the section entitled "GNU Free Documentation License".

Если вы не найдете лицензию, вы можете заказать копию по адресу:

Free Software Foundation, Inc.  
51 Franklin Street  
Fifth Floor  
Boston, MA 02110-1301 USA.

(Версия на английском языке является официальной)

LINUX® является зарегистрированным товарным знаком Линуса Торвальдса в США и других странах. Зарегистрированный товарный знак Linux® используется в соответствии с сублицензией от LMI, эксклюзивного лицензиата Линуса Торвальдса, владельца товарного знака во всем мире.

Проект LinuxCNC не связан с Debian®. *Debian* является зарегистрированным товарным знаком, принадлежащим Software in the Public Interest, Inc.

Проект LinuxCNC не связан с UBUNTU®. *UBUNTU* — зарегистрированная торговая марка, принадлежащая Canonical Limited.

# Chapter 1

## About LinuxCNC

### 1.1 The Software

- LinuxCNC (the Enhanced Machine Control) is a software system for computer control of machine tools such as milling machines and lathes, robots such as puma and scara and other computer controlled machines up to 9 axes.
  - LinuxCNC is free software with open source code. Current versions of LinuxCNC are entirely licensed under the GNU General Public License and Lesser GNU General Public License (GPL and LGPL).
  - LinuxCNC provides:
    - easy discovery and testing without installation with the LiveCD,
    - easy installation from the Live CD,
    - easy to use graphical configuration wizards to rapidly create a configuration specific to the machine,
    - directly available as regular packages of recent releases of Debian (since Bookworm) and Ubuntu (since Kinetic Kudu),
    - a graphical user interface (actually several interfaces to choose from),
    - a graphical interface creation tool (Glade),
    - an interpreter for *G-code* (the RS-274 machine tool programming language),
    - a realtime motion planning system with look-ahead,
    - operation of low-level machine electronics such as sensors and motor drives,
    - an easy to use *breadboard* layer for quickly creating a unique configuration for your machine,
    - a software PLC programmable with ladder diagrams.
  - It does not provide drawing (CAD - Computer Aided Design) or G-code generation from the drawing (CAM - Computer Automated Manufacturing) functions.
  - It can simultaneously move up to 9 axes and supports a variety of interfaces.
  - The control can operate true servos (analog or PWM) with the feedback loop closed by the LinuxCNC software at the computer, or open loop with step-servos or stepper motors.
  - Motion control features include: cutter radius and length compensation, path deviation limited to a specified tolerance, lathe threading, synchronized axis motion, adaptive feedrate, operator feed override, and constant velocity control.
-

- Support for non-Cartesian motion systems is provided via custom kinematics modules. Available architectures include hexapods (Stewart platforms and similar concepts) and systems with rotary joints to provide motion such as PUMA or SCARA robots.
- LinuxCNC runs on Linux using real time extensions.

## 1.2 The Operating System

LinuxCNC is available as ready-to-use packages for the Ubuntu and Debian distributions.

## 1.3 Getting Help

### 1.3.1 IRC

IRC stands for Internet Relay Chat. It is a live connection to other LinuxCNC users. The LinuxCNC IRC channel is #linuxcnc on libera.chat.

The simplest way to get on the IRC is to use the embedded web client client [from libera](#).

#### Some IRC etiquette

- Ask specific questions... Avoid questions like "Can someone help me?".
- If you're really new to all this, think a bit about your question before typing it. Make sure you give enough information so someone can answer your question or solve your problem.
- Have some patience when waiting for an answer, sometimes it takes a while to formulate an answer or everyone might be busy working or something.
- Set up your IRC account with your unique name so people will know who you are. If you use the java client, use the same name every time you log in. This helps people remember who you are and if you have been on before many will remember the past discussions which saves time on both ends.

#### Sharing Files

The most common way to share files on the IRC is to upload the file to one of the following or a similar service and paste the link:

- *For text:* <https://pastebin.com/>, <https://gist.github.com/>, <https://0bin.net/>, <https://paste.debian.net/>
- *For pictures:* <https://imagebin.org/>, <https://imgur.com/>, <https://bayimg.com/>
- *For files:* <https://filedropper.com/>, <https://filefactory.com/>, <https://1fichier.com/>

### 1.3.2 Mailing List

An Internet Mailing List is a way to put questions out for everyone on that list to see and answer at their convenience. You get better exposure to your questions on a mailing list than on the IRC but answers take longer. In a nutshell you e-mail a message to the list and either get daily digests or individual replies back depending on how you set up your account.

You can subscribe to the emc-users mailing list at: <https://lists.sourceforge.net/lists/listinfo/emc-users>.

---

### 1.3.3 Web Forum

A web forum can be found at <https://forum.linuxcnc.org/> or by following the link at the top of the <https://linuxcnc.org/> home page.

This is quite active but the demographic is more user-biased than the mailing list. If you want to be sure that your message is seen by the developers then the mailing list is to be preferred.

### 1.3.4 LinuxCNC Wiki

A Wiki site is a user maintained web site that anyone can add to or edit.

The user maintained LinuxCNC Wiki site contains a wealth of information and tips at <https://wiki.linuxcnc.org/>.

### 1.3.5 Bug Reports

Report bugs to the LinuxCNC [github bug tracker](#).

---

## Chapter 2

# System Requirements

### 2.1 Минимальные требования

Минимальная система для запуска LinuxCNC и Debian/Ubuntu может варьироваться в зависимости от конкретного использования. Шаговые системы обычно требуют более быстрых потоков для генерации шаговых импульсов, чем сервосистемы. Вы можете использовать Live CD для тестирования программного обеспечения перед его постоянной установкой на компьютер. Имейте в виду, что для генерации импульсов шагов программным способом значения теста задержки более важны, чем скорость процессора. Дополнительную информацию о тесте задержки можно найти [здесь](#). Кроме того, LinuxCNC необходимо запускать в операционной системе, использующей специально модифицированное ядро, см. [Требования к ядру и версии](#).

Дополнительную информацию можно найти на Wiki LinuxCNC site: [Hardware Requirements](#)

LinuxCNC и Debian Linux должны достаточно хорошо работать на компьютере со следующими минимальными спецификациями оборудования. Эти цифры не являются абсолютным минимумом, но обеспечивают приемлемую производительность для большинства шаговых систем.

- Процессор x86 700 МГц (рекомендуется процессор x86 1,2 ГГц) или Raspberry Pi 4 или лучше.
- LinuxCNC 2.8 или новее с Live CD предполагает наличие 64-битной системы.
- 512 MB of RAM, 4 GB with GUI to avoid surprises
- No hard disk for Live CD, 8 GB or more for permanent installation
- Видеокарта с разрешением не менее 1024x768, не использующая собственные драйверы NVidia или ATI fglrx. Современные встроенные графические чипсеты, похоже, в целом работают нормально.
- Интернет-соединение (не обязательно, но очень полезно для обновлений и общения с сообществом LinuxCNC)

Минимальные требования к оборудованию меняются по мере развития дистрибутивов Linux, поэтому посетите веб-сайт [Debian](#) для получения подробной информации об используемом вами Live CD. Для более старого оборудования можно выбрать более старую версию Live CD, если она доступна.

If you plan not to rely on the distribution of readily executable programs ("binaries") and/or aim at contributing to the source tree of LinuxCNC, then there is a good chance you want a second computer to perform the compilation. Even though LinuxCNC and your developments could likely be executed at the same time with respect to disk space, RAM and even CPU speed, a machine that is busy will have worse latencies, so you are unlikely to compile your source tree and produce chips at the same time.



## 2.2 Требования к ядру и версии

LinuxCNC требует модифицированного ядра для использования в реальном времени для управления реальным машинным оборудованием. Однако он может работать на стандартном ядре в режиме моделирования для таких целей, как проверка G-кода, тестирование файлов конфигурации и изучение системы. Для работы с этими версиями ядра распространяются две версии LinuxCNC. Имена пакетов: «linuxcnc» и «linuxcnc-uspace».

Опции ядра реального времени — preempt-rt, RTAI и Xenomai.

Вы можете узнать версию ядра вашей системы с помощью команды:

```
uname -a
```

Если вы видите (как указано выше) -rt- в имени ядра, значит, вы используете ядро preempt-rt и вам следует установить версию LinuxCNC "uspace". Вам также следует установить uspace для конфигураций "sim" на ядрах, не работающих в реальном времени.

Если вы видите -rtai- в имени ядра, значит, вы используете RTAI в реальном времени. См. ниже версию LinuxCNC для установки.

### 2.2.1 Preempt-RT с пакетом «linuxcnc-uspace»

Preempt-RT — новейшая из систем реального времени, а также версия, наиболее близкая к основному ядру. Ядра Preempt-RT доступны в виде предварительно скомпилированных пакетов из основных репозиториях. Их можно найти по поисковому запросу «PREEMPT\_RT», и его можно загрузить и установить, как и любой другой пакет. Preempt-RT, как правило, обеспечивает лучшую поддержку драйверов и является единственным вариантом для систем, использующих аппаратные карты драйверов Mesa, подключенные к Ethernet. В целом у preempt-rt самая низкая задержка среди доступных систем, но есть исключения.

### 2.2.2 RTAI с пакетом «linuxcnc»

RTAI уже много лет является основой дистрибутивов LinuxCNC. Обычно он обеспечивает наилучшую производительность в реальном времени с точки зрения низкой задержки, но может иметь меньшую поддержку периферийных устройств и меньшее разрешение экрана. Ядро RTAI доступно в репозитории пакетов LinuxCNC. Если вы установили из образа Live/Install, то переключение ядра и версии LinuxCNC описано в [Installing-RTAI].

### 2.2.3 Xenomai с пакетом «linuxcnc-uspace»

Xenomai также поддерживается, но вам придется найти или собрать ядро и скомпилировать LinuxCNC из исходного кода, чтобы использовать его.

### 2.2.4 RTAI с пакетом «linuxcnc-uspace»

Также возможно запустить LinuxCNC с RTAI в режиме пользовательского пространства. Как и в случае с Xenomai, для этого вам придется скомпилировать исходный код.

## 2.3 Проблемное оборудование

### 2.3.1 Ноутбуки

Ноутбуки обычно не подходят для генерации шагов программным способом в реальном времени. Опять же, запуск теста задержки в течение длительного времени предоставит вам информацию, необходимую для определения пригодности.

### 2.3.2 Видеокарты

Если ваша установка отображается с разрешением экрана 800 x 600, то, скорее всего, Debian не распознает вашу видеокарту или монитор. Иногда эту проблему можно обойти, установив драйверы или создав или отредактировав файлы Xorg.conf.

## Chapter 3

# Получение LinuxCNC

В этом разделе описан рекомендуемый способ загрузки и новой установки LinuxCNC. Для любителей приключений также существуют [Альтернативные методы установки](#). Если у вас есть существующая установка, которую вы хотите обновить, вместо этого перейдите в раздел [Обновление LinuxCNC](#).

---

### Note

Для управления оборудованием LinuxCNC требуется специальное ядро с расширениями реального времени. Здесь есть три возможности: preempt-rt, RTAI или Xenomai. Кроме того, существуют две версии LinuxCNC, работающие с этими ядрами. Подробности смотрите в таблице ниже. Однако для тестирования кода и моделирования можно запустить приложение linuxcnc-usrasc на стандартном ядре дистрибутива.

---

Свежие установки LinuxCNC проще всего создать с помощью образа Live/Install. Это гибридный образ файловой системы ISO, который можно записать на USB-накопитель или DVD-диск и использовать для загрузки компьютера. Во время загрузки вам будет предоставлен выбор: загрузить "Live" систему (чтобы запустить LinuxCNC без внесения каких-либо постоянных изменений в ваш компьютер) или загрузить установщик (чтобы установить LinuxCNC и его операционную систему на жесткий диск вашего компьютера).

Схема процесса выглядит так:

1. Загрузите Live/Install образ.
2. Запишите образ на USB-накопитель или DVD.
3. Загрузите систему Live, чтобы протестировать LinuxCNC.
4. Загрузите установщик, чтобы установить LinuxCNC.

## 3.1 Загрузка образа

В этом разделе описаны некоторые способы загрузки образа Live/Install.

### 3.1.1 Обычная загрузка

Программное обеспечение для LinuxCNC для загрузки представлено на странице проекта [Downloads page](#). Большинству пользователей будет нужен образ диска для компьютеров Intel/AMD, URL-адрес будет напоминать [https://www.linuxcnc.org/iso/linuxcnc\\_2.9.2-amd64.hybrid.iso](https://www.linuxcnc.org/iso/linuxcnc_2.9.2-amd64.hybrid.iso).

Для Raspberry Pi предоставлено несколько образов, позволяющих устранить различия между RPi4 и RPi5.

---

---

**Note**

Не используйте обычный дистрибутив Raspbian для LinuxCNC, который может поставляться с вашим стартовым комплектом RPi — в нем не будет ядра реального времени, и вы не сможете перейти с Raspbian на образ ядра Debian.

---

### 3.1.2 Загрузка с помощью zsync

zsync — это приложение для загрузки, которое эффективно возобновляет прерванную загрузку и эффективно передает большие файлы с небольшими изменениями (если у вас есть более старая локальная копия). Используйте zsync, если у вас возникли проблемы с загрузкой образа методом [Normal Download](#).

zsync в Linux

1. Установите zsync с помощью Synaptic или выполнив следующую команду в [terminal](#)

```
sudo apt-get install zsync
```

2. Затем запустите эту команду, чтобы загрузить ISO на свой компьютер

```
zsync https://www.linuxcnc.org/iso/linuxcnc_2.9.2-amd64.hybrid.iso
```

**zsync в Windows** Существует порт zsync для Windows. Он работает как консольное приложение и его можно загрузить по адресу <https://www.assembla.com/spaces/zsync-windows/documents>.

### 3.1.3 Проверка образа

(Этот шаг не нужен, если вы использовали zsync)

1. После загрузки проверьте контрольную сумму образа, чтобы убедиться в его целостности.

```
md5sum linuxcnc-2.9.2-amd64.iso
```

or

```
sha256sum linuxcnc-2.9.2-amd64.iso
```

1. Затем сравните с этими контрольными суммами

```
amd64 (PC)
md5sum: 1815aceaac0e7861747aa34d61846e79
sha256sum: 08b3f59233e47c91cf1c9a85c41df48542c97b134efefa7446d3060c9a3e644b
arm64 (Pi)
md5sum: 4547e8a72433efb033f0a5cf166a5cd2
sha256sum: ff3ba9b8dfb93baf1e2232746655f8521a606bc0fab91bffc04ba74cc3be6bf0
```

**Проверьте md5sum на Windows или Mac** Windows и Mac OS X не поставляются с программой md5sum, но есть альтернативы. Дополнительную информацию можно найти по адресу: <https://help.ubuntu.com/community/HowToMD5SUM> [How To MD5SUM]

---

## 3.2 Запишите образ на загрузочное устройство

ISO-образ LinuxCNC Live/Install — это гибридный ISO-образ, который можно записать непосредственно на USB-накопитель (флэш-накопитель) или DVD-диск и использовать для загрузки компьютера. Изображение слишком велико для компакт-диска.

### 3.2.1 Raspberry Pi Образ

Образ Raspberry Pi представляет собой полный образ SD-карты, и его следует записать на SD-карту с помощью [Raspberry Pi Imager App](#).

### 3.2.2 AMD-64 (x86-64, PC) Образ использующий инструменты ГИП

Загрузите и установите Balena Etcher с <https://etcher.balena.io/#download-etcher> (Linux, Windows, Mac) и запишите загруженный образ на USB-накопитель.

Если ваш образ не загружается, попробуйте также [Rufus](#). Он выглядит сложнее, но кажется более совместимым с различными BIOS.

### 3.2.3 Командная строка - Linux

1. Подключите запоминающее устройство USB (например, флэш-накопитель или устройство типа флэш-накопителя).
2. Определите файл устройства, соответствующий USB-накопителю. Эту информацию можно найти в выводе `dmesg` после подключения устройства. `/proc/partitions` также может быть полезен.
3. Используйте команду `dd`, чтобы записать образ на USB-накопитель. Например, если ваше устройство хранения отображается как `/dev/sde`, используйте следующую команду:

```
dd if=linuxcnc_2.9.2-amd64.hybrid.iso of=/dev/sde
```

### 3.2.4 Командная строка - MacOS

1. Open a terminal and type

```
diskutil list
```

2. Вставьте USB и запишите имя нового диска, которое появится, например `/dev/disk5`.
3. Размонтируйте USB. Число, указанное выше, следует заменить на N.

```
diskutil unmountDisk /dev/diskN
```

4. Перенесите данные с помощью `dd`, как для Linux выше. Обратите внимание, что в начале имени диска добавлена буква "r".

```
sudo dd if=/linuxcnc_2.9.2-amd64.hybrid.iso of=/dev/rdiskN bs=1m
```

5. Обратите внимание, что это может занять много времени, и в ходе этого процесса обратной связи не будет.

### Запись образа на DVD в Linux

1. Вставьте чистый DVD в записывающее устройство. Появится окно *CD/DVD Creator* или *Choose Disc Type*. Закройте это, так как мы не будем его использовать.
2. Перейдите к загруженному изображению в браузере файлов.
3. Щелкните правой кнопкой мыши файл образа ISO и выберите *Write to Disc*.
4. Выберите скорость записи. Рекомендуется писать на минимально возможной скорости.
5. Запустите процесс записи.
6. Если появится окно *choose a file name for the disc image*, просто выберите *OK*.

### Запись образа на DVD в Windows

1. Загрузите и установите *Infra Recorder*, бесплатную программу записи изображений с открытым исходным кодом: <https://infrarecorder.org/>.
2. Вставьте пустой компакт-диск в привод и выберите *Do nothing* или *Cancel*, если появится диалоговое окно автозапуска.
3. Откройте *Infra Recorder* и выберите меню *Actions*, затем *Burn image*.

### Запись образа на DVD в Mac OSX

1. Загрузите файл *.iso*
2. Щелкните правой кнопкой мыши файл в окне *Finder* и выберите *"Burn to disc"*. (Опция записи на диск появится только в том случае, если на машине установлен или подключен оптический привод.)

## 3.3 Тестирование LinuxCNC

Подключив USB-накопитель или DVD-диск в приводе DVD, выключите компьютер, а затем снова включите его. Компьютер загрузится из образа *Live/Install* и будет выбран вариант загрузки *Live*.

---

#### Note

Если система не загружается с DVD-диска или USB-накопителя, возможно, необходимо изменить порядок загрузки в BIOS ПК.

---

После загрузки компьютера вы можете попробовать *LinuxCNC*, не устанавливая его. Вы не можете создавать собственные конфигурации или изменять большинство системных настроек в сеансе *Live*, но вы можете (и должны) запустить тест задержки.

Чтобы опробовать *LinuxCNC*: в меню *Applications/CNC* выберите *LinuxCNC*. Откроется диалоговое окно, в котором вы сможете выбрать одну из множества примеров конфигураций. На этом этапе действительно имеет смысл выбрать конфигурацию *"sim"*. Некоторые из примеров конфигураций включают в себя трехмерное моделирование машин на экране. Чтобы увидеть их, найдите *"Vismach"*.

Чтобы проверить, подходит ли ваш компьютер для программной пошаговой генерации импульсов, запустите тест задержки, как показано [здесь](#).

На момент написания *Live Image* доступен только с ядром *preempt-rt* и соответствующим *LinuxCNC*. На некотором оборудовании это может не обеспечивать достаточно хорошую задержку. Доступна экспериментальная версия, использующая ядро реального времени *RTAI*, которая часто обеспечивает лучшую задержку.

---

## 3.4 Установка LinuxCNC

Чтобы установить LinuxCNC с Live CD, при загрузке выберите *Install (Graphical)*.

## 3.5 Updates to LinuxCNC

При обычной установке Update Manager будет уведомлять вас об обновлениях LinuxCNC, когда вы подключаетесь к сети, и позволит вам легко выполнить обновление без необходимости знания Linux. По запросу можно обновить все, кроме операционной системы.



### Warning

Не обновляйте операционную систему на новую версию, если будет предложено это сделать. Однако вам следует принимать *обновления ОС*, особенно обновления безопасности.

## 3.6 Проблемы с установкой

В редких случаях вам может потребоваться сбросить настройки BIOS до значений по умолчанию, если во время установки Live CD он не может распознать жесткий диск во время загрузки.

## 3.7 Альтернативные методы установки

Самый простой и предпочтительный способ установки LinuxCNC — использовать Live/Install Image, как описано выше. Этот метод настолько прост и надежен, насколько это возможно, и подходит как для начинающих, так и для опытных пользователей. Однако обычно это заменяет любую существующую операционную систему. Если на целевом компьютере есть файлы, которые вы хотите сохранить, воспользуйтесь одним из методов, описанных в этом разделе.

Кроме того, для опытных пользователей, знакомых с системным администрированием Debian (поиск установочных образов, манипулирование источниками apt, изменение версий ядра и т. д.), новые установки поддерживаются на следующих платформах: ("amd64" означает "64-разрядный" и не специфично для процессоров AMD, он будет работать в любой 64-битной системе x86)

Дистрибутив	Архитектура	Ядро	Имя пакета	Типовое использование
Debian Bookworm	amd64 & arm64	preempt-rt	linuxcnc-ospace	управление станком и моделирование
Debian Bookworm	amd64	RTAI	linuxcnc	управление станком
Debian Bullseye	amd64	preempt-rt	linuxcnc-ospace	управление станком и моделирование
Debian Buster	amd64 & arm64	preempt-rt	linuxcnc-ospace	управление станком и моделирование

Дистрибутив	Архитектура	Ядро	Имя пакета	Типовое использование
Debian Buster	amd64	RTAI	linuxcnc	управление станком
Любой	Любой	Оригинал	linuxcnc-uspace	ТОЛЬКО моделирование

**Note**

LinuxCNC v2.9 не поддерживается в Debian 9 и более ранних версиях.

**Preempt-RT ядра** Ядра Preempt-rt доступны для Debian из обычного архива debian.org. Пакет называется `linux-image-rt-*`. Просто установите пакет так же, как и любой другой пакет, из диспетчера пакетов Synaptic или с помощью `apt-get` в командной строке.

**RTAI Ядра** Ядра RTAI доступны для загрузки из архива Debian linuxcnc.org. Подходящий источник:

- Debian Bookworm: `deb https://linuxcnc.org bookworm base`
- Debian Bullseye: `deb https://linuxcnc.org bullseye base`
- Debian Buster: `deb https://linuxcnc.org buster base`

LinuxCNC и ядро RTAI теперь доступны только для 64-битных ОС, но очень мало сохранившихся систем не могут работать на 64-битной ОС.

### 3.7.1 Установка на Debian Bookworm (с ядром Preempt-RT)

1. Установите Debian Bookworm (Debian 12), версия amd64. Вы можете скачать установщик здесь: <https://www.debian.org/distrib/>
2. После записи ISO и загрузки, если вам не нужен рабочий стол Gnome, выберите *Advanced Options > Alternative desktop environments* и выберите тот, который вам нравится. Затем выберите *Install or Graphical Install*.

**Warning**

Не вводите пароль root, если вы это сделаете, `sudo` будет запрещено, и вы не сможете завершить следующие шаги.

3. Запустите следующую команду в [terminal](#), чтобы обновить машину до последних пакетов.

```
sudo apt-get update
sudo apt-get dist-upgrade
```

**Note**

Можно загрузить версию LinuxCNC непосредственно из Debian, но при этом будет установлена старая предварительная версия, поэтому в настоящее время это не рекомендуется.

4. Установите ядро и модули Preempt-RT

```
sudo apt-get install linux-image-rt-amd64
```



5. Перезагрузитесь и выберите ядро Linux 6.1.0-10-rt-amd64. Точная версия ядра может отличаться, обратите внимание на суффикс "-rt". Это может быть скрыто в подменю "Advanced options for Debian Bookworm" в Grub. При входе в систему убедитесь, что следующая команда сообщает о PREEMPT\_RT.

```
uname -v
```

6. Откройте Applications Menu > System > Synaptic Package Manager, найдите *linux-image*, щелкните правой кнопкой мыши исходный файл без *rt* и выберите *Mark for Complete Removal*. Перезагрузитесь. Это необходимо для принудительной загрузки системы с ядра RT. Если вы предпочитаете сохранить оба ядра, то другие ядра удалять не нужно, но изменения конфигурации загрузки *grub* потребуются, выходящие за рамки этого документа.
7. Добавьте ключ подписи архива LinuxCNC в свой набор ключей *apt*, загрузив [скрипт установщика LinuxCNC] (<https://www.linuxcnc.org/linuxcnc-install.sh>). Для его запуска вам потребуется сделать скрипт исполняемым:

```
chmod +x linuxcnc-install.sh
```

```
b''3b''b''ab''b''tb''b''eb''b''mb'' b''vb''b''yb'' b''mb''b''ob''b''jb''b''eb''b''tb''b ←
''eb'' b''zb''b''ab''b''pb''b''yb''b''cb''b''tb''b''ib''b''tb''b''yb'' b''yb''b' ←
'cb''b''tb''b''ab''b''nb''b''ob''b''vb''b''cb''b''ib''b''kb''':
```

```
sudo ./linuxcnc-install.sh
```

### 3.7.2 Установка на Debian Bookworm (с экспериментальным ядром RTAI)

1. Это ядро и версию LinuxCNC можно установить поверх установки Live DVD или, альтернативно, в новой установке 64-разрядной версии Debian Bookworm, как описано выше.
2. Вы можете добавить ключ подписи архива LinuxCNC и информацию о репозитории, загрузив и запустив сценарий установки, как описано выше. Если обнаружено ядро RTAI, оно остановится перед установкой каких-либо пакетов.
3. Обновите список пакетов с [linuxcnc.org](http://linuxcnc.org)

```
sudo apt-get update
```

4. Установите новое ядро реального времени, RTAI и RTAI-версию LinuxCNC.

```
sudo apt-get install linuxcnc
```

Перезагрузите компьютер, убедившись, что система загружается с новым ядром 5.4.258-rtai.

### 3.7.3 Установка на Raspbian 12

Не делайте этого. Задержки слишком велики с ядром по умолчанию, а ядро Debian PREEMPT\_RT (RT важно) не загружается на Pi (по состоянию на 1 января 2024 г.). Пожалуйста, обратитесь к образам *.iso*, которые можно найти в Интернете на обычной странице [LinuCNC download page](#). Вы можете создать их самостоятельно, следуя предоставленным скриптам [online](#).

## Chapter 4

# Running LinuxCNC

### 4.1 Вызов LinuxCNC

После установки LinuxCNC запускается так же, как и любая другая программа Linux: запустите ее из [terminal](#), введя команду «linuxcnc», или выберите ее в меню «Applications -> CNC».

### 4.2 Configuration Launcher

При запуске LinuxCNC (из меню ЧПУ или из командной строки без указания INI-файла) открывается диалог Configuration Selector.

Диалоговое окно «Configuration Selector» позволяет пользователю выбрать одну из существующих конфигураций (My Configurations) или выбрать новую (из примеров конфигураций) для копирования в свой домашний каталог. Скопированные конфигурации появятся в разделе «My Configurations» при следующем вызове селектора конфигурации.

Configuration Selector предлагает выбор конфигураций, организованных:

- «My Configurations» — пользовательские конфигурации, расположенные в linuxcnc/configs в вашем домашнем каталоге.
- «Sample Configurations» — примеры конфигураций, если они выбраны, копируются в linuxcnc/configs. После того как образец конфигурации будет скопирован в ваш локальный каталог, программа запуска предложит его как «My Configurations». Имена, под которыми представлены эти локальные конфигурации, соответствуют именам каталогов внутри каталога configs/
  - *sim* — конфигурации, включающие моделируемое оборудование. Их можно использовать для тестирования или изучения работы LinuxCNC.
  - *by\_interface* — конфигурации, организованные по признаку ГИП.
  - *by\_machine* - Конфигурации организованные по признаку станка.
  - *apps* — приложения, которые не требуют запуска linuxcnc, но могут быть полезны для тестирования или использования таких приложений, как [PyVCP](#) или [GladeVCP](#).
  - «attic» — устаревшие или исторические конфигурации.

Конфигурации Sim часто являются наиболее полезной отправной точкой для новых пользователей и организованы вокруг поддерживаемых ГИПов:

- *axis* — ГИП клавиатуры и мыши
-

- «craftsman» — ГИП с сенсорным экраном (больше не поддерживается ???)
- *gmoscaru* - ГИП Сенсорного экрана
- *gscreen* - ГИП Сенсорного экрана
- *pyvcp\_demo* - Виртуальная панель управления Python
- *qtaxis* — ГИП с сенсорным экраном, выглядит как Axis
- *qtdragon* - ГИП Сенсорного экрана
- *qtdragon\_hd* - ГИП Сенсорного экрана высокого разрешения
- *qtplasmac* - ГИП Сенсорного экрана, для столов плазменной резки
- *qttouchy* - ГИП Сенсорного экрана
- *tklinuxcnc* — ГИП клавиатуры и мыши (больше не поддерживается)
- *touchy* - ГИП для сенсорного экрана
- *woodpecker* - ГИП Сенсорного экрана

Каталог конфигурации ГИП может содержать подкаталоги с конфигурациями, иллюстрирующими особые ситуации или встраивание других приложений.

Конфигурации *by\_interface* организованы вокруг общих поддерживаемых интерфейсов, таких как:

- общая мехатроника
- mesa
- rapport
- pico
- pluto
- servotogo
- vigilant
- vitalsystems

Для использования этих конфигураций в качестве отправной точки системы может потребоваться соответствующее оборудование.

Конфигурации *by\_machine* организованы вокруг полных известных систем, таких как:

- boss
- cooltool
- scortbot erIII
- sherline
- smithy
- tormach

Для использования этих конфигураций может потребоваться полная система.

The *apps items* are typically either:

---

1. utilities that don't require starting linuxcnc
2. demonstrations of applications that can be used with linuxcnc
  - info — создает файл с системной информацией, которая может быть полезна для диагностики проблем.
  - Gladevcp — пример приложений GladeVCP.
  - halrun — запускает halrun в [terminal](#).
  - latency — приложения для исследования задержки
    - latency-histogram-1 - гистограмма для одного servo thread
    - latency-histogram - гистограмма
    - latency-test - стандартный тест
    - latency-plot — ленточная диаграмма
  - rapport - Приложение для тестирования rapport.
  - ruvcp — Примеры приложений ruvcp.
  - xhc-hb04 — приложения для тестирования беспроводного USB-устройства РГИ xhc-hb04

### Note

В каталоге «Приложения» для копирования в каталог пользователя предлагаются только те приложения, которые были изменены пользователем с пользой.

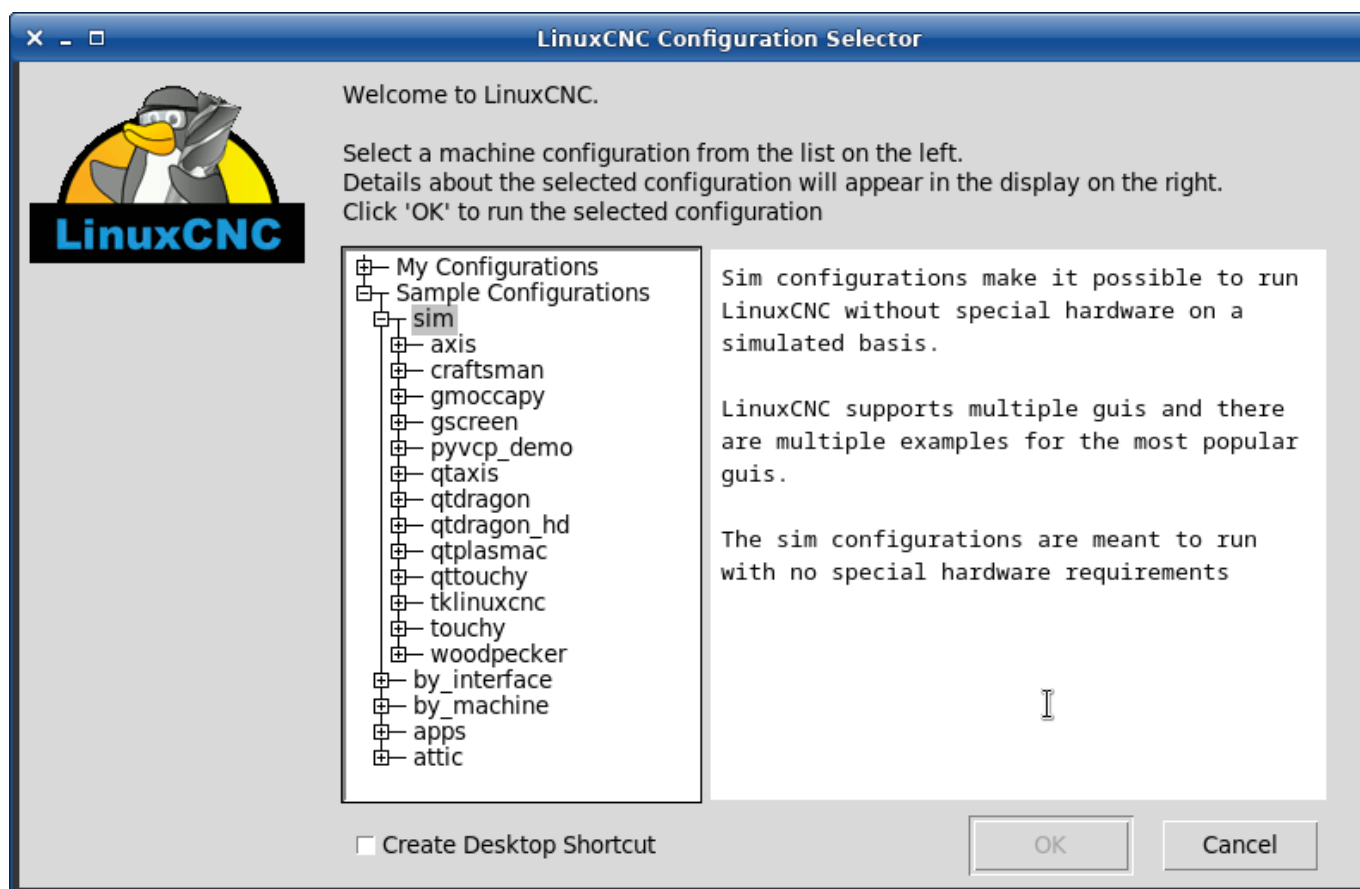


Figure 4.1: Селектор конфигурации LinuxCNC

Кликните на любой из перечисленных конфигураций, чтобы отобразить конкретную информацию о ней. Дважды щелкните конфигурацию или нажмите «ОК», чтобы начать настройку.

Выберите *Create Desktop Shortcut*, а затем нажмите «ОК», чтобы добавить значок на рабочий стол Ubuntu для прямого запуска этой конфигурации без отображения экрана выбора конфигурации.

Когда вы выбираете конфигурацию в разделе Sample Configurations, она автоматически помещает копию этой конфигурации в каталог `~/linuxcnc/configs`.

### 4.3 Следующие шаги по настройке

Найдя пример конфигурации, использующий то же интерфейсное оборудование, что и ваш станок (или конфигурацию симулятора), и сохранив копию в своем домашнем каталоге, вы можете настроить ее в соответствии с особенностями вашего станка. См. раздел «Руководство для интегратора», посвященный настройке.

### 4.4 Конфигурации симулятора

Все конфигурации, перечисленные в разделе Sample Configurations/sim, предназначены для запуска на любом компьютере. Никакого специального оборудования не требуется и поддержка в режиме реального времени не требуется.

Эти конфигурации полезны для изучения отдельных возможностей или опций. Конфигурации для симуляции организованы в соответствии с ГИП, использованным в демонстрации. Каталог для Axis содержит больше всего вариантов и подкаталогов, поскольку это наиболее протестированный ГИП. Возможности, продемонстрированные в любом конкретном ГИП, могут быть доступны и в других ГИП.

### 4.5 Ресурсы по настройке

Селектор конфигурации копирует все файлы, необходимые для конфигурации, в новый подкаталог `~/linuxcnc/configs` (эквивалентно: `/home/username/linuxcnc/configs`). Каждый созданный каталог будет включать как минимум один INI-файл (`inifilename.ini`), который используется для описания конкретной конфигурации.

Файловые ресурсы в скопированном каталоге обычно включают один или несколько INI-файлов (`filename.ini`) для связанных конфигураций и файл таблицы инструментов (`toolfilename.tbl`). Кроме того, ресурсы могут включать файлы HAL (`filename.hal`, `filename.tcl`), файл README для описания каталога и информацию, специфичную для конфигурации, в текстовом файле, названном в честь конкретной конфигурации (`inifilename.txt`). Последние два файла отображаются при использовании Селектора Конфигурации.

В поставляемых примерах конфигураций может быть указан параметр `HALFILE` (имя\_файла.hal) в INI-файле конфигурации, которого нет в скопированном каталоге, поскольку он находится в системной библиотеке файлов HAL. Эти файлы можно скопировать в каталог конфигурации пользователя и изменить по требованию пользователя для модификации или тестирования. Поскольку при поиске файлов HAL в первую очередь выполняется поиск в каталоге конфигурации пользователя, локальные модификации будут иметь преимущественную силу.

Селектор конфигурации создает символическую ссылку в каталоге конфигурации пользователя (с именем `hallib`), указывающую на системную библиотеку файлов HAL. Эта ссылка упрощает копирование файла библиотеки. Например, чтобы скопировать файл библиотеки `core_sim.hal` для внесения локальных изменений:

```
cd ~/linuxcnc/configs/name_of_configuration  
cp hallib/core_sim.hal core_sim.hal
```

## Chapter 5

# Updating LinuxCNC

Обновление LinuxCNC до новой второстепенной версии (т. е. до новой версии той же стабильной серии, например, с 2.9.1 до 2.9.2) — это автоматический процесс, если ваш компьютер подключен к Интернету. Вы увидите приглашение на обновление после незначительного выпуска вместе с другими обновлениями программного обеспечения. Если у вас нет подключения к Интернету на вашем компьютере, см. раздел [Updating without Network](#).

### 5.1 Обновление до новой версии

В этом разделе описывается, как обновить LinuxCNC с версии 2.8.x до версии 2.9.y. Предполагается, что у вас есть установленная версия 2.8, которую вы хотите обновить.

Чтобы обновить LinuxCNC с версии старше 2.8, вам необходимо сначала [обновление старой установки до 2.8](#), а затем следовать этим инструкциям. для обновления до новой версии.

Если у вас нет старой версии LinuxCNC для обновления, лучше всего выполнить новую установку новой версии, как описано в разделе [Getting LinuxCNC](#).

Кроме того, если вы используете Ubuntu Precision или Debian Wheezy, стоит рассмотреть возможность создания резервной копии каталога «linuxcnc» на съемном носителе и выполнения [clean install of a newer OS and LinuxCNC version](#) поскольку эти выпуски были прекращены в 2017 и 2018 годах соответственно. Если вы используете Ubuntu Lucid, вам придется это сделать, поскольку Lucid больше не поддерживается LinuxCNC (в 2013 году это было EOL).

Чтобы обновить основные версии, такие как 2.8, до 2.9, когда у вас есть сетевое соединение на компьютере, вам необходимо отключить старые источники apt linuxcnc.org в файле /etc/apt/sources.list и добавить новый источник apt linuxcnc.org для 2.9. , затем обновите LinuxCNC.

Детали будут зависеть от того, на какой платформе вы работаете. Откройте [terminal](#), затем введите `lsb_release -ic`, чтобы найти эту информацию:

```
> lsb_release -ic
Distributor ID: Debian
Codename:      buster
```

You should be running on Debian Buster, Bullseye or Bookworm or Ubuntu 20.04 "Focal Fossa" or newer. LinuxCNC 2.9.y will not run on older distributions than these.

Вам также нужно будет проверить, какое используется ядро реального времени:

```
uname -r
6.1.0-10-rt-amd64
```

Если вы видите (как указано выше) -rt- в имени ядра, значит, вы используете ядро preempt-rt и вам следует установить версию LinuxCNC "uspace". Вам также следует установить uspace для конфигураций "sim" на ядрах, не работающих в реальном времени.

Если вы видите -rtai- в имени ядра, значит, вы используете RTAI в реальном времени. См. ниже версию LinuxCNC для установки. Пакеты RTAI доступны для Bookworm и Buster, но в настоящее время недоступны для Bullseye.

### 5.1.1 Конфигурация источников Арт

- Откройте окно Software Sources. Этот процесс немного отличается на трех поддерживаемых платформах:
  - Debian:
    - \* Нажмите Applications Menu, затем System, затем Synaptic Package Manager.
    - \* В Synaptic нажмите меню Settings, затем нажмите Repositories, чтобы открыть окно Software Sources.
  - Ubuntu Precise:
    - \* Нажмите на значок Dash Home в левом верхнем углу.
    - \* В поле Search введите "software", затем щелкните значок Ubuntu Software Center.
    - \* В окне Ubuntu Software Center нажмите меню Edit, затем нажмите Software Sources..., чтобы открыть окно Software Sources.
  - Ubuntu Lucid:
    - \* Откройте меню System, затем Administration, затем Synaptic Package Manager.
    - \* В Synaptic нажмите меню Settings, затем нажмите Repositories, чтобы открыть окно Software Sources.
- В окне Software Sources выберите вкладку Other Software.
- Удалите или снимите флажки со всех старых записей linuxcnc.org (оставьте все строки, отличные от linuxcnc.org, как есть).
- Нажмите кнопку Add и добавьте новую строку арт. На разных платформах строка будет немного отличаться:

Table 5.1: Tabular overview on variants of the Operating System and the corresponding configuration of the repository. The configuration can be performed in the GUI of the package manager or in the file /etc/apt/sources.list.

OS / Realtime Version	Repository
Debian Buster - preempt	deb <a href="https://linuxcnc.org">https://linuxcnc.org</a> buster base 2.9-uspace
Debian Buster - RTAI	deb <a href="https://linuxcnc.org">https://linuxcnc.org</a> buster base 2.9-rt
Debian Bullseye - preempt	deb <a href="https://linuxcnc.org">https://linuxcnc.org</a> bullseye base 2.9-uspace
Debian Bookworm - preempt	deb <a href="https://linuxcnc.org">https://linuxcnc.org</a> bookworm base 2.9-uspace
Debian Bookworm - RTAI	deb <a href="https://linuxcnc.org">https://linuxcnc.org</a> bookworm base 2.9-rt





Figure 5.1: Figure with a screenshot of the repository configuration of the synaptic package manager.

- Нажмите Add Source, затем Close в окне Software Sources. Если появится окно с сообщением о том, что информация о доступном программном обеспечении устарела, нажмите кнопку Reload.

### 5.1.2 Обновление до новой версии

Теперь ваш компьютер знает, где взять новую версию программного обеспечения, теперь нам нужно ее установить.

Процесс снова различается в зависимости от вашей платформы.

### 5.1.2.1 Debian Buster, Bullseye and Bookworm

Debian используют диспетчер пакетов Synaptic.

- Откройте Synaptic, следуя инструкциям в разделе [Настройка источников apt](#) выше.
- Нажмите кнопку Reload.
- Используйте функцию поиска для поиска linuxcnc.
- Пакет называется «linuxcnc» для ядер RTAI и «linuxcnc-uspace» для preempt-rt.
- Установите флажок, чтобы отметить новые пакеты linuxcnc и linuxcnc-doc-\* для обновления. Менеджер пакетов может выбрать несколько дополнительных пакетов для установки, чтобы удовлетворить зависимости, которые имеет новый пакет linuxcnc.
- Нажмите кнопку Apply, и ваш компьютер установит новый пакет. Старый пакет linuxcnc будет автоматически обновлен до нового.

### 5.1.3 Ubuntu

- Нажмите на значок Dash Home в левом верхнем углу.
- В поле Search введите «update», затем щелкните значок Update Manager.
- Нажмите кнопку Check, чтобы просмотреть список доступных пакетов.
- Нажмите кнопку Install Updates, чтобы установить новые версии всех пакетов.

## 5.2 Обновление без сети

Для обновления без подключения к сети вам необходимо загрузить .deb, а затем установить его с помощью dpkg. Файлы .debs можно найти по адресу <https://linuxcnc.org/dists/>.

Вам нужно перейти по ссылке выше, чтобы найти правильный deb для вашей установки. Откройте [terminal](#) и введите «lsb\_release -ic», чтобы найти название выпуска вашей ОС.

```
> lsb_release -ic
Distributor ID: Debian
Codename:      bullseye
```

Выберите ОС из списка, затем выберите нужную вам основную версию, например 2.9-rt для RTAI и 2.9-rtpreempt или 2.9-uspace для preempt-rt.

Затем выберите тип вашего компьютера: бинарный-amd64 для любого 64-битного x86, бинарный-i386 для 32-битного, бинарный-armhf (32-битный) или бинарный-arm64 (64-битный) для Raspberry Pi.

Затем выберите нужную версию в нижней части списка, например *linuxcnc-uspace\_2.9.2\_amd64.deb* (выберите самую последнюю по дате). Загрузите deb и скопируйте его в свой домашний каталог. Вы можете переименовать файл во что-то более короткое с помощью файлового менеджера, например *linuxcnc\_2.9.2.deb*, затем открыть терминал и установить его с помощью менеджера пакетов с помощью этой команды:

```
sudo dpkg -i linuxcnc_2.9.2.deb
```

## 5.3 Обновление файлов конфигурации для версии 2.9

### 5.3.1 Более строгое обращение с подключаемыми интерпретаторами

Если вы просто запускаете обычный G-код и не знаете, что такое подключаемый интерпретатор, то этот раздел вас не касается.

Редко используемая функция LinuxCNC — это поддержка подключаемых интерпретаторов, управляемых недокументированной настройкой INI [TASK]INTERPRETER.

Версии LinuxCNC до 2.9.0 использовались для обработки неправильной настройки [TASK]INTERPRETER путем автоматического возврата к использованию интерпретатора G-кода по умолчанию.

Начиная с версии 2.9.0, неправильное значение [TASK]INTERPRETER приведет к тому, что LinuxCNC откажется запускаться. Исправьте это условие, удалив настройку [TASK]INTERPRETER из вашего INI-файла, чтобы LinuxCNC использовал интерпретатор G-кода по умолчанию.

### 5.3.2 Canterp

Если вы просто запускаете обычный G-код и не используете подключаемый интерпретатор canterp, то этот раздел вас не касается.

В крайне маловероятном случае использования canterp знайте, что модуль перемещен из /usr/lib/libcanterp.so в /usr/lib/linuxcnc/canterp.so, и настройку [TASK]INTERPRETER соответственно, необходимо изменить с libcanterp.so на canterp.so.

## 5.4 Обновление файлов конфигурации (для 2.9.y)

При переходе с версии 2.8.x на версию 2.9.y никаких изменений в файлах конфигурации не требуется.

### 5.4.1 Ограничения шпинделя в INI

Теперь можно добавлять настройки в раздел [SPINDLE] INI-файла

MAX\_FORWARD\_VELOCITY = 20000 Максимальная скорость шпинделя (в об/мин)

MIN\_FORWARD\_VELOCITY = 3000 Минимальная скорость шпинделя (в об/мин)

MAX\_REVERSE\_VELOCITY = 20000 Если этот параметр опущен, по умолчанию будет установлено значение MAX\_FORWARD\_VELOCITY.

MIN\_REVERSE\_VELOCITY = 3000 Эта настройка эквивалентна MIN\_FORWARD\_VELOCITY, но для обратного вращения шпинделя. По умолчанию будет установлено значение MIN\_FORWARD\_VELOCITY, если оно опущено.

INCREMENT = 200 Устанавливает размер шага для команд увеличения/уменьшения скорости шпинделя. Это может иметь разное значение для каждого шпинделя. Эта настройка эффективна для AXIS и Touchy, но учтите, что на некоторых экранах управления ситуация может обрабатываться по-другому.

HOME\_SEARCH\_VELOCITY = 100 - Принято, но в настоящее время ничего не делает

HOME\_SEQUENCE = 0 - Принято, но в настоящее время ничего не делает

## 5.5 Новые компоненты HAL

### 5.5.1 Не в реальном времени

mdro mqtt-publisher pi500\_vfd pmx485-test qtplasmac-materials sim-torch svd-ps\_vfd

### 5.5.2 В реальном времени

anglejog div2 enum filter\_kalman flipflop hal\_parport homecomp limit\_axis mesa\_uart millturn scaled\_s32\_s  
tof ton

## 5.6 Новые драйверы

Была представлена структура для управления устройствами ModBus с использованием последовательных портов на многих картах Mesa. [http://linuxcnc.org/docs/2.9/html/drivers/mesa\\_modbus.html](http://linuxcnc.org/docs/2.9/html/drivers/mesa_modbus.html)

Теперь включен новый драйвер GPIO для любого GPIO, поддерживаемого библиотекой gpiod: [http://linuxcnc.org/docs/2.9/html/drivers/hal\\_gpio.html](http://linuxcnc.org/docs/2.9/html/drivers/hal_gpio.html)

---

## Chapter 6

# Glossary

A listing of terms and what they mean. Some terms have a general meaning and several additional meanings for users, installers, and developers.

### **Acme Screw**

A type of lead-screw that uses an Acme thread form. Acme threads have somewhat lower friction and wear than simple triangular threads, but ball-screws are lower yet. Most manual machine tools use acme lead-screws.

### **Axis**

One of the computer controlled movable parts of the machine. For a typical vertical mill, the table is the X axis, the saddle is the Y axis, and the quill or knee is the Z axis. Angular axes like rotary tables are referred to as A, B, and C. Additional linear axes relative to the tool are called U, V, and W respectively.

### **AXIS(ГНИ)**

One of the Graphical User Interfaces available to users of LinuxCNC. It features the modern use of menus and mouse buttons while automating and hiding some of the more traditional LinuxCNC controls. It is the only open-source interface that displays the entire tool path as soon as a file is opened.

### **ГМОЦАРУ (GUI)**

A Graphical User Interfaces available to users of LinuxCNC. It features the use and feel of an industrial control and can be used with touch screen, mouse and keyboard. It support embedded tabs and hal driven user messages, it offers a lot of hal beans to be controlled with hardware. ГМОЦАРУ is highly customizable.

### **Backlash**

The amount of "play" or lost motion that occurs when direction is reversed in a lead screw. or other mechanical motion driving system. It can result from nuts that are loose on leadscrews, slippage in belts, cable slack, "wind-up" in rotary couplings, and other places where the mechanical system is not "tight". Backlash will result in inaccurate motion, or in the case of motion caused by external forces (think cutting tool pulling on the work piece) the result can be broken cutting tools. This can happen because of the sudden increase in chip load on the cutter as the work piece is pulled across the backlash distance by the cutting tool.

### **Backlash Compensation**

Any technique that attempts to reduce the effect of backlash without actually removing it from the mechanical system. This is typically done in software in the controller. This can correct the final resting place of the part in motion but fails to solve problems related to direction changes while in motion (think circular interpolation) and motion that is caused when external forces (think cutting tool pulling on the work piece) are the source of the motion.

**Ball Screw**

A type of lead-screw that uses small hardened steel balls between the nut and screw to reduce friction. Ball-screws have very low friction and backlash, but are usually quite expensive.

**Ball Nut**

A special nut designed for use with a ball-screw. It contains an internal passage to re-circulate the balls from one end of the screw to the other.

**CNC**

Computer Numerical Control. The general term used to refer to computer control of machinery. Instead of a human operator turning cranks to move a cutting tool, CNC uses a computer and motors to move the tool, based on a part program.

**Comp**

A tool used to build, compile and install LinuxCNC HAL components.

**Configuration(n)**

A directory containing a set of configuration files. Custom configurations are normally saved in the users home/linuxcnc/configs directory. These files include LinuxCNC's traditional INI file and HAL files. A configuration may also contain several general files that describe tools, parameters, and NML connections.

**Configuration(v)**

The task of setting up LinuxCNC so that it matches the hardware on a machine tool.

**Coordinate Measuring Machine**

A Coordinate Measuring Machine is used to make many accurate measurements on parts. These machines can be used to create CAD data for parts where no drawings can be found, when a hand-made prototype needs to be digitized for moldmaking, or to check the accuracy of machined or molded parts.

**Display units**

The linear and angular units used for onscreen display.

**DRO**

A Digital Read Out is a system of position-measuring devices attached to the slides of a machine tool, which are connected to a numeric display showing the current location of the tool with respect to some reference position. DROs are very popular on hand-operated machine tools because they measure the true tool position without backlash, even if the machine has very loose Acme screws. Some DROs use linear quadrature encoders to pick up position information from the machine, and some use methods similar to a resolver which keeps rolling over.

**EDM**

EDM is a method of removing metal in hard or difficult to machine or tough metals, or where rotating tools would not be able to produce the desired shape in a cost-effective manner. An excellent example is rectangular punch dies, where sharp internal corners are desired. Milling operations can not give sharp internal corners with finite diameter tools. A *wire* EDM machine can make internal corners with a radius only slightly larger than the wire's radius. A *sinker* EDM can make internal corners with a radius only slightly larger than the radius on the corner of the sinking electrode.

**EMC**

The Enhanced Machine Controller. Initially a NIST project. Renamed to LinuxCNC in 2012.

**EMCIO**

The module within LinuxCNC that handles general purpose I/O, unrelated to the actual motion of the axes.

**EMCMOT**

The module within LinuxCNC that handles the actual motion of the cutting tool. It runs as a real-time program and directly controls the motors.

---

**Энкодер**

A device to measure position. Usually a mechanical-optical device, which outputs a quadrature signal. The signal can be counted by special hardware, or directly by the parport with LinuxCNC.

**Feed**

Relatively slow, controlled motion of the tool used when making a cut.

**Feed rate**

The speed at which a cutting motion occurs. In auto or MDI mode, feed rate is commanded using an F word. F10 would mean ten machine units per minute.

**Feedback**

A method (e.g., quadrature encoder signals) by which LinuxCNC receives information about the position of motors.

**Feedrate Override**

A manual, operator controlled change in the rate at which the tool moves while cutting. Often used to allow the operator to adjust for tools that are a little dull, or anything else that requires the feed rate to be "tweaked".

**Floating Point Number**

A number that has a decimal point. (12.300) In HAL it is known as float.

**G-code**

The generic term used to refer to the most common part programming language. There are several dialects of G-code, LinuxCNC uses RS274/NGC.

**GUI**

Graphical User Interface.

**General**

A type of interface that allows communications between a computer and a human (in most cases) via the manipulation of icons and other elements (widgets) on a computer screen.

**LinuxCNC**

An application that presents a graphical screen to the machine operator allowing manipulation of the machine and the corresponding controlling program.

**HAL**

Hardware Abstraction Layer. At the highest level, it is simply a way to allow a number of building blocks to be loaded and interconnected to assemble a complex system. Many of the building blocks are drivers for hardware devices. However, HAL can do more than just configure hardware drivers.

**Home**

A specific location in the machine's work envelope that is used to make sure the computer and the actual machine both agree on the tool position.

**INI file**

A text file that contains most of the information that configures LinuxCNC for a particular machine.

**Instance**

One can have an instance of a class or a particular object. The instance is the actual object created at runtime. In programmer jargon, the "Lassie" object is an instance of the "Dog" class.

**Joint Coordinates**

These specify the angles between the individual joints of the machine. See also Kinematics

**Jog**

Manually moving an axis of a machine. Jogging either moves the axis a fixed amount for each key-press, or moves the axis at a constant speed as long as you hold down the key. In manual mode, jog speed can be set from the graphical interface.

---

**kernel-space**

Код, выполняемый внутри ядра, в отличие от кода, выполняемого в пользовательском пространстве. Некоторые системы реального времени (например, RTAI) выполняют код реального времени в ядре, а код не в реальном времени — в пользовательском пространстве, в то время как другие системы реального времени (например, Preempt-RT) выполняют код как в реальном времени, так и не в реальном времени в пользовательском пространстве.

**Kinematics**

The position relationship between world coordinates and joint coordinates of a machine. There are two types of kinematics. Forward kinematics is used to calculate world coordinates from joint coordinates. Inverse kinematics is used for exactly the opposite purpose. Note that kinematics does not take into account, the forces, moments etc. on the machine. It is for positioning only.

**Lead-screw**

An screw that is rotated by a motor to move a table or other part of a machine. Lead-screws are usually either ball-screws or acme screws, although conventional triangular threaded screws may be used where accuracy and long life are not as important as low cost.

**Machine units**

The linear and angular units used for machine configuration. These units are specified and used in the INI file. HAL pins and parameters are also generally in machine units.

**MDI**

Manual Data Input. This is a mode of operation where the controller executes single lines of G-code as they are typed by the operator.

**NIST**

National Institute of Standards and Technology. An agency of the Department of Commerce in the United States.

**NML**

Neutral Message Language provides a mechanism for handling multiple types of messages in the same buffer as well as simplifying the interface for encoding and decoding buffers in neutral format and the configuration mechanism.

**Offsets**

An arbitrary amount, added to the value of something to make it equal to some desired value. For example, G-code programs are often written around some convenient point, such as X0, Y0. Fixture offsets can be used to shift the actual execution point of that G-code program to properly fit the true location of the vice and jaws. Tool offsets can be used to shift the "uncorrected" length of a tool to equal that tool's actual length.

**Part Program**

A description of a part, in a language that the controller can understand. For LinuxCNC, that language is RS-274/NGC, commonly known as G-code.

**Program Units**

The linear and angular units used in a part program. The linear program units do not have to be the same as the linear machine units. See G20 and G21 for more information. The angular program units are always measured in degrees.

**Python**

General-purpose, very high-level programming language. Used in LinuxCNC for the Axis GUI, the StepConf configuration tool, and several G-code programming scripts.

**Rapid**

Fast, possibly less precise motion of the tool, commonly used to move between cuts. If the tool meets the workpiece or the fixturing during a rapid, it is probably a bad thing!



**Rapid rate**

The speed at which a rapid motion occurs. In auto or MDI mode, rapid rate is usually the maximum speed of the machine. It is often desirable to limit the rapid rate when testing a G-code program for the first time.

**Real-time**

Software that is intended to meet very strict timing deadlines. On Linux, in order to meet these requirements it is necessary to install a realtime kernel such as RTAI or Preempt-RT, and build the LinuxCNC software to run in the special real-time environment. Realtime software can run in the kernel or in userspace, depending on the facilities offered by the system.

**RTAI**

Real Time Application Interface, see <https://www.rtai.org/>, the real-time extensions for Linux that LinuxCNC can use to achieve real-time performance.

**RTLINUX**

See <https://en.wikipedia.org/wiki/RTLinux>, an older real-time extension for Linux that LinuxCNC used to use to achieve real-time performance. Obsolete, replaced by RTAI.

**RTAPI**

A portable interface to real-time operating systems including RTAI and POSIX pthreads with realtime extensions.

**RS-274/NGC**

The formal name for the language used by LinuxCNC part programs.

**Servo Motor**

Generally, any motor that is used with error-sensing feedback to correct the position of an actuator. Also, a motor which is specially-designed to provide improved performance in such applications.

**Servo Loop**

A control loop used to control position or velocity of a motor equipped with a feedback device.

**Signed Integer**

A whole number that can have a positive or negative sign. In HAL it is usually a `s32`, but could be also a `s64`.

**Spindle**

The part of a machine tool that spins to do the cutting. On a mill or drill, the spindle holds the cutting tool. On a lathe, the spindle holds the workpiece.

**Spindle Speed Override**

A manual, operator controlled change in the rate at which the tool rotates while cutting. Often used to allow the operator to adjust for chatter caused by the cutter's teeth. Spindle Speed Override assumes that the LinuxCNC software has been configured to control spindle speed.

**StepConf**

An LinuxCNC configuration wizard. It is able to handle many step-and-direction motion command based machines. It writes a full configuration after the user answers a few questions about the computer and machine that LinuxCNC is to run on.

**Stepper Motor**

A type of motor that turns in fixed steps. By counting steps, it is possible to determine how far the motor has turned. If the load exceeds the torque capability of the motor, it will skip one or more steps, causing position errors.

**TASK**

The module within LinuxCNC that coordinates the overall execution and interprets the part program.

---

**Tcl/Tk**

A scripting language and graphical widget toolkit with which several of LinuxCNCs GUIs and selection wizards were written.

**Traverse Move**

A move in a straight line from the start point to the end point.

**Units**

See "Machine Units", "Display Units", or "Program Units".

**Unsigned Integer**

A whole number that has no sign. In HAL it is usually a [u32](#) but could be also a [u64](#).

**World Coordinates**

This is the absolute frame of reference. It gives coordinates in terms of a fixed reference frame that is attached to some point (generally the base) of the machine tool.

# Chapter 7

## Legal Section

Translations of this file provided in the source tree are not legally binding.

### 7.1 Copyright Terms

**Copyright (c) 2000-2022 LinuxCNC.org**

Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.1 or any later version published by the Free Software Foundation; with no Invariant Sections, no Front-Cover Texts, and no Back-Cover Texts. A copy of the license is included in the section entitled "GNU Free Documentation License".

### 7.2 GNU Free Documentation License

**GNU Free Documentation License Version 1.1, March 2000**

Copyright © 2000 Free Software Foundation, Inc. 51 Franklin Street, Fifth Floor, Boston, MA 02110-1301 USA. Everyone is permitted to copy and distribute verbatim copies of this license document, but changing it is not allowed.

#### 0. PREAMBLE

Цель настоящей лицензии — сделать руководство, учебник или другой письменный документ "свободным" в смысле свободы: гарантировать каждому эффективную свободу копировать и распространять его с модификацией или без нее, как в коммерческих, так и в некоммерческих целях. Во-вторых, настоящая лицензия оставляет за автором и издателем возможность получить признание за свою работу, не неся при этом ответственности за изменения, внесенные другими.

This License is a kind of "copyleft", which means that derivative works of the document must themselves be free in the same sense. It complements the GNU General Public License, which is a copyleft license designed for free software.

We have designed this License in order to use it for manuals for free software, because free software needs free documentation: a free program should come with manuals providing the same freedoms that the software does. But this License is not limited to software manuals; it can be used for any textual work, regardless of subject matter or whether it is published as a printed book. We recommend this License principally for works whose purpose is instruction or reference.

#### 1. APPLICABILITY AND DEFINITIONS

This License applies to any manual or other work that contains a notice placed by the copyright holder saying it can be distributed under the terms of this License. The “Document”, below, refers to any such manual or work. Any member of the public is a licensee, and is addressed as “you”.

A “Modified Version” of the Document means any work containing the Document or a portion of it, either copied verbatim, or with modifications and/or translated into another language.

«Второй раздел» — это поименованное приложение или основной раздел Документа, который касается исключительно отношений издателей или авторов Документа к общей теме Документа (или к связанным с ней вопросам) и не содержит ничего, что могло бы напрямую относиться к в рамках этой общей темы. (Например, если Документ частично является учебником по математике, Второй раздел не может объяснять какую-либо математику.) Отношения могут быть вопросом исторической связи с предметом или связанными с ним вопросами, а также юридическими, коммерческими, философскими, этической или политической позицией по отношению к ним.

The “Invariant Sections” are certain Secondary Sections whose titles are designated, as being those of Invariant Sections, in the notice that says that the Document is released under this License.

The “Cover Texts” are certain short passages of text that are listed, as Front-Cover Texts or Back-Cover Texts, in the notice that says that the Document is released under this License.

“Прозрачная” копия Документа означает машиночитаемую копию, представленную в формате, спецификация которого доступна широкой публике, содержание которого может быть просмотрено и отредактировано прямо и понятно с помощью обычных текстовых редакторов или (для изображений, состоящих из пикселей) общедоступных программ рисования или (для рисунков) какой-либо широко доступный редактор рисунков, который подходит для ввода в форматировщики текста или для автоматического перевода в различные форматы, подходящие для ввода в форматировщики текста. Копия, сделанная в формате файла “Прозрачный”, разметка которого была разработана для предотвращения или избегания последующего изменения читателями, не является “Прозрачной”. Копия, которая не является “Прозрачной”, называется “Непрозрачной”.

Examples of suitable formats for Transparent copies include plain ASCII without markup, Texinfo input format, LaTeX input format, SGML or XML using a publicly available DTD, and standard-conforming simple HTML designed for human modification. Opaque formats include PostScript, PDF, proprietary formats that can be read and edited only by proprietary word processors, SGML or XML for which the DTD and/or processing tools are not generally available, and the machine-generated HTML produced by some word processors for output purposes only.

The “Title Page” means, for a printed book, the title page itself, plus such following pages as are needed to hold, legibly, the material this License requires to appear in the title page. For works in formats which do not have any title page as such, “Title Page” means the text near the most prominent appearance of the work’s title, preceding the beginning of the body of the text.

## **2. VERBATIM COPYING**

You may copy and distribute the Document in any medium, either commercially or noncommercially, provided that this License, the copyright notices, and the license notice saying this License applies to the Document are reproduced in all copies, and that you add no other conditions whatsoever to those of this License. You may not use technical measures to obstruct or control the reading or further copying of the copies you make or distribute. However, you may accept compensation in exchange for copies. If you distribute a large enough number of copies you must also follow the conditions in section 3.

You may also lend copies, under the same conditions stated above, and you may publicly display copies.

## **3. COPYING IN QUANTITY**

If you publish printed copies of the Document numbering more than 100, and the Document’s license notice requires Cover Texts, you must enclose the copies in covers that carry, clearly and legibly, all these Cover Texts: Front-Cover Texts on the front cover, and Back-Cover Texts on the back cover. Both covers must also clearly and legibly identify you as the publisher of these copies. The front cover must present the full title with all words of the title equally prominent and visible. You may add

other material on the covers in addition. Copying with changes limited to the covers, as long as they preserve the title of the Document and satisfy these conditions, can be treated as verbatim copying in other respects.

If the required texts for either cover are too voluminous to fit legibly, you should put the first ones listed (as many as fit reasonably) on the actual cover, and continue the rest onto adjacent pages.

If you publish or distribute Opaque copies of the Document numbering more than 100, you must either include a machine-readable Transparent copy along with each Opaque copy, or state in or with each Opaque copy a publicly-accessible computer-network location containing a complete Transparent copy of the Document, free of added material, which the general network-using public has access to download anonymously at no charge using public-standard network protocols. If you use the latter option, you must take reasonably prudent steps, when you begin distribution of Opaque copies in quantity, to ensure that this Transparent copy will remain thus accessible at the stated location until at least one year after the last time you distribute an Opaque copy (directly or through your agents or retailers) of that edition to the public.

Просьба, но не обязательно, чтобы вы связались с авторами Документа задолго до распространения большого количества копий, чтобы дать им возможность предоставить вам обновленную версию Документа.

#### 4. MODIFICATIONS

You may copy and distribute a Modified Version of the Document under the conditions of sections 2 and 3 above, provided that you release the Modified Version under precisely this License, with the Modified Version filling the role of the Document, thus licensing distribution and modification of the Modified Version to whoever possesses a copy of it. In addition, you must do these things in the Modified Version:

А. Используйте на титульном листе (и на обложках, если таковые имеются) заголовок, отличный от названия Документа и предыдущих версий (которые должны, если таковые имеются, быть указаны в разделе «История» Документа). Вы можете использовать то же название, что и в предыдущей версии, если первоначальный издатель этой версии дает разрешение. Б. Укажите на титульном листе в качестве авторов одно или несколько физических или юридических лиц, ответственных за авторство изменений в Модифицированной версии, а также не менее пяти основных авторов Документа (всех его основных авторов, если он имеет менее пяти). С. Укажите на титульном листе имя издателя Модифицированной версии в качестве издателя. Д. Сохраните все уведомления об авторских правах на Документ. Е. Добавьте соответствующее уведомление об авторских правах для ваших изменений рядом с другими уведомлениями об авторских правах. Ф. Включите сразу после уведомлений об авторских правах уведомление о лицензии, дающее публичное разрешение на использование Модифицированной версии в соответствии с условиями настоящей Лицензии, в форме, показанной в Приложении ниже. Г. Сохраните в этом уведомлении о лицензии полные списки Неизменяемых разделов и обязательных сопроводительных текстов, приведенных в уведомлении о лицензии к Документу. Н. Включите неизменную копию настоящей Лицензии. И. Сохраните раздел, озаглавленный «История», и его название, и добавьте к нему пункт, указывающий как минимум название, год, новых авторов и издателя Модифицированной версии, как указано на титульном листе. Если в Документе нет раздела под названием «История», создайте его, указав название, год, авторов и издателя Документа, как указано на его титульной странице, затем добавьте элемент, описывающий Модифицированную версию, как указано в предыдущем предложении. J. Сохраните сетевое местоположение, если таковое имеется, указанное в Документе, для публичного доступа к прозрачной копии Документа, а также сетевые местоположения, указанные в Документе для предыдущих версий, на которых он был основан. Их можно разместить в разделе «История». Вы можете опустить сетевое местоположение для произведения, которое было опубликовано не менее чем за четыре года до самого Документа, или если первоначальный издатель версии, на которую оно ссылается, дает разрешение. К. В любом разделе, озаглавленном «Благодарности» или «Посвящения», сохраните название раздела и сохраните в нем всю суть и тон каждого из приведенных в нем благодарностей и/или посвящений участников. L. Сохраните все неизменяемые разделы Документа без изменений в их тексте и названиях. Номера разделов или их эквиваленты не считаются частью названий разделов. М. Удалить любой раздел, озаглавленный «Подтверждения». Такой раздел не может быть включен в Модифицированную версию. N. Не

переименовывайте существующие разделы как "Подтверждения" и не конфликтует по названию с каким-либо неизменным разделом.

If the Modified Version includes new front-matter sections or appendices that qualify as Secondary Sections and contain no material copied from the Document, you may at your option designate some or all of these sections as invariant. To do this, add their titles to the list of Invariant Sections in the Modified Version's license notice. These titles must be distinct from any other section titles.

You may add a section entitled "Endorsements", provided it contains nothing but endorsements of your Modified Version by various parties—for example, statements of peer review or that the text has been approved by an organization as the authoritative definition of a standard.

You may add a passage of up to five words as a Front-Cover Text, and a passage of up to 25 words as a Back-Cover Text, to the end of the list of Cover Texts in the Modified Version. Only one passage of Front-Cover Text and one of Back-Cover Text may be added by (or through arrangements made by) any one entity. If the Document already includes a cover text for the same cover, previously added by you or by arrangement made by the same entity you are acting on behalf of, you may not add another; but you may replace the old one, on explicit permission from the previous publisher that added the old one.

The author(s) and publisher(s) of the Document do not by this License give permission to use their names for publicity for or to assert or imply endorsement of any Modified Version.

## 5. COMBINING DOCUMENTS

You may combine the Document with other documents released under this License, under the terms defined in section 4 above for modified versions, provided that you include in the combination all of the Invariant Sections of all of the original documents, unmodified, and list them all as Invariant Sections of your combined work in its license notice.

The combined work need only contain one copy of this License, and multiple identical Invariant Sections may be replaced with a single copy. If there are multiple Invariant Sections with the same name but different contents, make the title of each such section unique by adding at the end of it, in parentheses, the name of the original author or publisher of that section if known, or else a unique number. Make the same adjustment to the section titles in the list of Invariant Sections in the license notice of the combined work.

In the combination, you must combine any sections entitled "History" in the various original documents, forming one section entitled "History"; likewise combine any sections entitled "Acknowledgements", and any sections entitled "Dedications". You must delete all sections entitled "Endorsements."

## 6. COLLECTIONS OF DOCUMENTS

You may make a collection consisting of the Document and other documents released under this License, and replace the individual copies of this License in the various documents with a single copy that is included in the collection, provided that you follow the rules of this License for verbatim copying of each of the documents in all other respects.

You may extract a single document from such a collection, and distribute it individually under this License, provided you insert a copy of this License into the extracted document, and follow this License in all other respects regarding verbatim copying of that document.

## 7. AGGREGATION WITH INDEPENDENT WORKS

A compilation of the Document or its derivatives with other separate and independent documents or works, in or on a volume of a storage or distribution medium, does not as a whole count as a Modified Version of the Document, provided no compilation copyright is claimed for the compilation. Such a compilation is called an "aggregate", and this License does not apply to the other self-contained works thus compiled with the Document, on account of their being thus compiled, if they are not themselves derivative works of the Document.

If the Cover Text requirement of section 3 is applicable to these copies of the Document, then if the Document is less than one quarter of the entire aggregate, the Document's Cover Texts may be placed on covers that surround only the Document within the aggregate. Otherwise they must appear on covers around the whole aggregate.

---

## 8. TRANSLATION

Translation is considered a kind of modification, so you may distribute translations of the Document under the terms of section 4. Replacing Invariant Sections with translations requires special permission from their copyright holders, but you may include translations of some or all Invariant Sections in addition to the original versions of these Invariant Sections. You may include a translation of this License provided that you also include the original English version of this License. In case of a disagreement between the translation and the original English version of this License, the original English version will prevail.

## 9. TERMINATION

You may not copy, modify, sublicense, or distribute the Document except as expressly provided for under this License. Any other attempt to copy, modify, sublicense or distribute the Document is void, and will automatically terminate your rights under this License. However, parties who have received copies, or rights, from you under this License will not have their licenses terminated so long as such parties remain in full compliance.

## 10. FUTURE REVISIONS OF THIS LICENSE

The Free Software Foundation may publish new, revised versions of the GNU Free Documentation License from time to time. Such new versions will be similar in spirit to the present version, but may differ in detail to address new problems or concerns. See <https://www.gnu.org/copyleft/>.

Each version of the License is given a distinguishing version number. If the Document specifies that a particular numbered version of this License "or any later version" applies to it, you have the option of following the terms and conditions either of that specified version or of any later version that has been published (not as a draft) by the Free Software Foundation. If the Document does not specify a version number of this License, you may choose any version ever published (not as a draft) by the Free Software Foundation.

### **ADDENDUM:** How to use this License for your documents

To use this License in a document you have written, include a copy of the License in the document and put the following copyright and license notices just after the title page:

Copyright (c) YEAR YOUR NAME. Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.1 or any later version published by the Free Software Foundation; with the Invariant Sections being LIST THEIR TITLES, with the Front-Cover Texts being LIST, and with the Back-Cover Texts being LIST. A copy of the license is included in the section entitled "GNU Free Documentation License".

If you have no Invariant Sections, write "with no Invariant Sections" instead of saying which ones are invariant. If you have no Front-Cover Texts, write "no Front-Cover Texts" instead of "Front-Cover Texts being LIST"; likewise for Back-Cover Texts.

If your document contains nontrivial examples of program code, we recommend releasing these examples in parallel under your choice of free software license, such as the GNU General Public License, to permit their use in free software.

---