

# Inkrementalgeber

Als **Inkrementalgeber** (Abk.: IGR) werden Sensoren zur Erfassung von Lageänderungen (linear) oder Winkeländerungen (rotierend) bezeichnet, die Wegstrecke und Wegrichtung bzw. Winkelveränderung und Drehrichtung erfassen können. Weitere Bezeichnungen sind **Drehgeber**, **Inkrementaldrehgeber** oder **Drehimpulsgeber**. Mit dem zugrundeliegenden Inkrementalverfahren an sich ist also keine unmittelbare Bestimmung der absoluten Position (Weg, Winkel) möglich, wie dies mit Absolutwertgebern möglich ist.

Typische Einsatzgebiete sind die Positionsbestimmung in der Automatisierungstechnik sowie Bedienungselemente von elektronischen Geräten („digitales Endlos-Poti“<sup>[1]</sup>).

Gegenüber kontinuierlich arbeitenden Messsystemen wie Servo-Potentiometern besitzen Inkrementalgeber eine Maßverkörperung mit einer sich wiederholenden, periodischen Zählspur. Die Messung beruht auf einer Richtungsbestimmung und einer Zählung. Am häufigsten verwendet werden rotierende optische Geber. Inkrementalgeber müssen (im Gegensatz zu Absolutwertgebern) nach dem Einschalten gegebenenfalls referenziert werden, da Änderungen der Position im ausgeschalteten Zustand nicht erfasst werden.

## Funktionsweise

Inkrementalgeber können photoelektrisch, magnetisch oder mit Schleifkontakten arbeiten.



Inkrementalgeber als Bedienelement; der abmontierte Bedienknopf liegt daneben

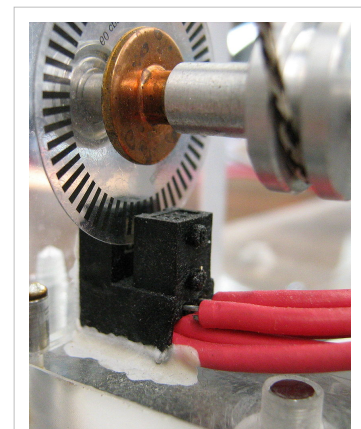
## Photoelektrische Abtastung

Bei der photoelektrischen Abtastung unterscheidet man zwischen dem abbildenden Messprinzip, das für Teilungsperioden bis hinunter zu  $20\text{ }\mu\text{m}$  geeignet ist und dem interferentiellen Messprinzip, das Teilungsperioden bis herab zu  $4\text{ }\mu\text{m}$  ermöglicht.

### Abbildendes Messprinzip

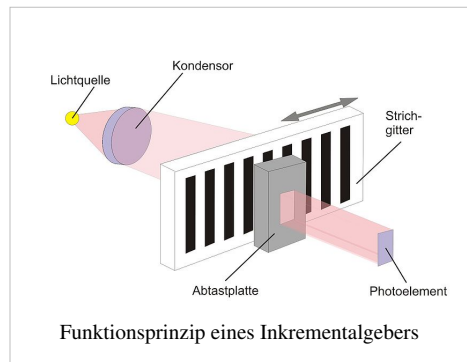
Bei der Mehrfeldabtastung wird ein Lichtstrahl, der durch eine Lichtquelle (meist eine Infrarot-Leuchtdiode) erzeugt wird, durch einen Kondensor, eine mit Strichen versehene Abtastplatte und eine Blende (Maßverkörperung) auf ein photooptisches Bauelement (meist ein Fototransistor) geleitet. Einfachste Ausführungen, wie sie zum Beispiel bei Computermäusen verwendet werden, verzichten auf Kondensor und Abtastplatte.

Zwischen der Leuchtdiode und zwei leicht versetzt angeordneten



Photoelektrische Abtastung  
(Demonstrationsmodell)

optischen Sensoren befindet sich eine mit Schlitzten versehene Scheibe. Rotiert nun diese Scheibe, wird der Lichtstrahl zwischen LED und Sensoren periodisch moduliert. Bei einer Bewegung geben die beiden Sensoren zwei um  $90^\circ$  phasenverschobene symmetrische sinusähnliche Signale ab. Bewegt sich die Maßverkörperung nach rechts, ist das Sinussignal des ersten Kanals gegenüber dem zweiten Kanal um  $90^\circ$  voreilend. In der anderen Richtung ist das Sinussignal des ersten Kanals gegenüber dem zweiten Kanal um  $90^\circ$  nacheilend. Hochwertige Messsysteme benutzen vier Sensoren, die jeweils zu zweit antiparallel geschaltet sind, um einen definierten Nulldurchgang zu erhalten und so Drift- und Alterungserscheinungen zu kompensieren.



Manchmal wird dieses Prinzip auch in einem Auflichtverfahren verwendet, der die Reflexionen auf der Maßverkörperung ausnutzt. Ein anderes Messprinzip ist die Einfeld-Abtastung. Dabei wird der Lichtstrahl durch den Kondensor und eine Abtastplatte, die mit zwei verschachtelten Phasengittern ausgerüstet ist, auf eine Maßverkörperung gelenkt. Der Lichtstrahl wird dann reflektiert und durch die Beugungsgitter zurückgeleitet. Dabei entstehen wiederum vier phasenverschobene Bilder der Abtastplatte. Durch eine entsprechende Verschaltung der fotooptischen Sensoren werden sie wie bei der Mehrfeldabtastung ausgewertet. Das Verfahren ist bei Linearmaßstäben anwendbar, da es eine leichte Welligkeit der Maßverkörperung toleriert und auch gegenüber einer leichten lokalen Verschmutzung unempfindlich ist.

### Interferentielles Messprinzip

Bei diesem Messprinzip wird die Beugungserscheinung an einem Gitter ausgenutzt, um ein Messsignal zu erzeugen. Dieses Verfahren wird bei hochgenauen inkrementellen Linearmesssystemen angewandt. Dazu wird der Lichtstrahl durch einen Kondensor auf eine Maßverkörperung geleitet, dort reflektiert und durch den Kondensor zu den photoelektrischen Sensoren zurückgeleitet. Die ein Phasengitter tragende transparente Abtastplatte sorgt dafür, dass drei gebeugte Strahlanteile (Beugungsordnung  $-1$ ,  $0$ ,  $+1$ ) erzeugt werden. Nach der Reflexion an der ebenfalls ein Phasengitter tragenden Maßverkörperung wird die Abtastplatte durch die Strahlen erneut passiert, wobei die nullte Beugungsordnung ausgelöscht wird. Anschließend werden die  $\pm 1$ . Beugungsordnung so auf drei Photoelemente abgebildet, dass diese dabei ein um jeweils  $120^\circ$  versetztes Signal erzeugen. Diese drei Signale werden dann in einer Folgeelektronik in die industrietaugliche 2-Signal-Form umgesetzt.

### Magnetische Abtastung

Bei einem inkrementellen Messsystem mit magnetischer Abtastung besteht die Maßverkörperung aus einem hartmagnetischen Träger, in dem durch Magnetisierung eine Teilung eingeprägt wurde. Die Abtastplatte trägt etwa vier Hallelemente, die ähnlich einer optischen Mehrfeldabtastung verschaltet sind. Die Teilungsperiode kann bei diesen Systemen bis zu 5 mm betragen. Die magnetische Abtastung wird angewendet, wenn das Messsystem nicht mit erträglichem Aufwand gekapselt werden kann. Sie kann gegenüber Flüssigkeiten und Schmutz unempfindlich hergestellt werden. Lediglich Fremdkörper dürfen nicht in den Abtastspalt gelangen. Eine weitere Möglichkeit ist das Abtasten einer Verzahnung aus unmagnetisiertem ferromagnetischem Material (z. B. Eisen) mittels einer oder mehreren mit Gleichstrom beaufschlagten Induktionsspulen. Die feststehenden Spulen besitzen einen zur Verzahnung passenden Eisenkern. In den Spulen wird bei Bewegung eine Wechselspannung induziert, die nach Polarität und Phasenlage ausgewertet wird.

## Schleifkontakte

Inkrementalgeber mit Schleifkontakten arbeiten prinzipiell wie ein Drehschalter. Sie liefern wie auch andere Inkrementalgeber zwei um 90 Grad gegeneinander phasenverschobene Signale, anhand deren sich Drehrichtung und -winkel bestimmen lassen. Übliche Auflösungen sind etwa 32 Positionen pro Umdrehung. Nachteil der preiswerten Lösung mit Schleifkontakten ist der mechanische Verschleiß. Mechanische Inkrementalgeber werden daher nur bei gelegentlicher Betätigung eingesetzt, etwa für digitale Drehknöpfe. Gegebenenfalls müssen die Kontakte elektronisch oder softwareseitig entprellt werden. Häufig ist über axiale Betätigung auch noch ein Tasterkontakt realisiert, etwa zum Ein-/ Ausschalten, Bestätigen einer Eingabe, etc..



## Vorhandene Konstruktionselemente

Je nach Begebenheiten können auch schon vorhandene Konstruktionselemente (etwa Zahnräder oder Zahnstangen) als Maßverkörperung genutzt werden. So ist es bei bestimmten linearen Antrieben möglich, die Zähne der vorhandenen Zahnstangen mittels eines induktiven Aufnehmers abzufragen, wodurch ein spezieller Geber mit integrierter Maßverkörperung nicht gebraucht wird. Hierbei müssen Genauigkeits- und Kostenaspekte berücksichtigt werden.

## Signalauswertung

Durch nachfolgende Auswertung von Impulsanzahl, Impulsfrequenz und Phasenlage können Weg, Geschwindigkeit und Richtung bestimmt werden. Gängige Ausgangssignalpegel sind TTL, HTL (beides digitale Signale), sowie 1 V<sub>ss</sub> und 11 µA (analoge Signale). Bei Sensoren, die ein sinusförmiges Signal erzeugen, kann auch eine Interpolation der Position erfolgen, die eine weitere Erhöhung der Genauigkeit erlaubt. Je nach Ausführung findet diese Interpolation bereits in der Sensoreinheit statt. Abhängig vom Messsystem können dabei Genauigkeiten bis 0,1 µm erreicht werden.

Wird der Drehgeber in einem Servomotor eingesetzt, verfügt er in der Regel noch über zusätzliche Spuren. Diese stellen normalerweise Spuren für Kommutierungssignale dar. Sie können analog aus um 90° versetzten Sinus-/ Cosinussignalen (sogenannte C/D-Spur oder Z1-Spur) bestehen oder aus Teilkreisen bei der Blockkommutierung.

## Referenzieren

Bei vielen Anwendungen ist die Kenntnis der absoluten Position erforderlich. Hierbei ist ein Nachteil des Inkrementalgeberprinzips, dass nach einem Spannungsausfall die absolute Position nicht mehr bekannt ist. Deshalb werden etwa bei Positionierungssystemen nach dem Einschalten sogenannte *Referenzfahrten* auf einen unabhängigen Positionssensor (z. B. Endlagenschalter) ausgeführt. Manche inkrementellen Drehgeber geben pro voller Umdrehung noch einen Referenzimpuls (Index) auf einem dritten Kanal aus. Einige Inkrementalgeber haben auch eine abstandskodierte Referenzmarke. Dabei wird der Abstand zweier Referenzmarken so auf der Massverkörperung angebracht, dass zwischen 1. und 2. Referenzmarke 500 Striche gezählt werden, bei der nächsten 501 usw. Dadurch kann ein externer Referenzgeber entfallen.

## Anwendungen

- Bei der optomechanischen Computermouse werden die Bewegungen der Rollkugel auf zwei Inkrementalgeber für die X- und Y-Achse übertragen.
- Bei Geräten der Unterhaltungselektronik, an Werkzeugmaschinen und Messgeräten übernehmen Drehknöpfe mit Inkrementalgebern häufig die digital gesteuerten Funktionen eines Potentiometers („Jog Dial“), der Einstellung von Parametern oder der Menüauswahl.
- U.a. in Tintenstrahldruckern messen lineare Inkrementalgeber die Position des Druckwagens. Hierzu bewegt sich ein an diesem angebrachter Sensor entlang einem mit Strichen versehenen, fest gespannten Band
- Im industriellen Umfeld werden Inkrementalgeber zur Messung von Wegstrecken, Geschwindigkeiten oder Drehwinkeln an Werkzeugmaschinen, in der Handhabungs- und Automatisierungstechnik und an Mess- und Prüfeinrichtungen eingesetzt. Insbesondere in Werkzeugmaschinen werden zunehmend platzsparende sogenannte Einbaudrehgeber verwendet.
- Im Vermessungswesen werden Inkrementalgeber seit den 90er-Jahren in elektronischen Theodoliten eingesetzt, wo sie die bisherigen Teilkreise aus Glas ersetzen. Die Technik der relativen Winkelbestimmung wird dort *Inkrementalverfahren* genannt, im Gegensatz zum *Codeverfahren* beim Einsatz von Absolutwertgebern.
- Ein weiterer Einsatzbereich stellt die Positionserfassung bei Toröffnern dar. Über ein optoelektronisches Zählwerk wird die Lage mittels Fotodioden über eine regelmäßig gelochte Drehscheibe ermittelt und elektronisch verarbeitet. Somit ist der Einsatz eines elektronischen Softstopsystemes möglich.

Eine absolute Genauigkeit eines solchen Inkrementalgebers ist jedoch nicht immer gegeben, da diese eine sehr präzise Materialbearbeitung im Mikrometerbereich erforderlich macht, die wiederum je nach Preisklasse nicht immer gegeben sein muss.

## Weblinks

- Ansteuerung eines Drehimpulsgebers mit AVR-Mikrocontroller <sup>[2]</sup>
- Schulungsunterlagen (PDF); ifm electronic gmbh <sup>[3]</sup>

## Literatur

- Walcher, Hans, "Winkel- und Wegmessung im Maschinenbau", 2. neubearb. und erw. Aufl., VDI-Verlag, Düsseldorf, 1985, ISBN 3-18-400708-1

## Quelle

- [1] *c't-Lab* auf heise.de (<http://www.heise.de/ct/projekte/machmit/ctlab/wiki/AlleModule#a162007:PS3-2StromversorgungundPM8Bedienpanel>), abgerufen am 2. August 2010
- [2] <http://user.cs.tu-berlin.de/~lordmaik/projects/427Encoder/427Encoder.htm>
- [3] [http://www.ifm.com/de/schulung\\_drehgeber](http://www.ifm.com/de/schulung_drehgeber)

# Quelle(n) und Bearbeiter des/der Artikel(s)

**Inkrementalgeber** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=78153993> *Bearbeiter:* Aka, ArtMechanic, Babser, Bautsch, Biezl, Boemmels, Carbenium, Cschirp, D, Der fahrer, Don Magnifico, Dullnraamer, Ephraim33, Faxel, Geof, Graukappe, HaSee, HaeB, He3nry, Hermannthomas, Howwi, Krawi, Krille, Lunochod, Ma-Lik, MatthiasDD, Norro, OecherAlemanne, Optimike, Pemu, Quickfix, RainerB., ReinerSpass, RokerHRO, Roterraecher, SLXViper, Schubbay, Sculptur, Sdo, Small Axe, Stahlkocher, Stefan506, TmG, Ulfbastel, Ussschrotti, Wolfgang H., 66 anonyme Bearbeitungen

# Quelle(n), Lizenz(en) und Autor(en) des Bildes

**Datei:Drehinkrementalencoder.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Drehinkrementalencoder.jpg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* User:Pemu

**Datei:Inkrementalgeber mit gabellichtschränke.JPG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Inkrementalgeber\\_mit\\_gabellichtschränke.JPG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Inkrementalgeber_mit_gabellichtschränke.JPG) *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0 *Bearbeiter:* User:Tycho

**Datei:Inkrementalgeber.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Inkrementalgeber.jpg> *Lizenz:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.5 *Bearbeiter:* User:RainerB.

**Datei:Inkrementalg.jpg** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Inkrementalg.jpg> *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* User:Ulfbastel

# Lizenz

**Wichtiger Hinweis zu den Lizenzen**  
Die nachfolgenden Lizenzen beziehen sich auf den Artikeltext. Im Artikel gezeigte Bilder und Grafiken können unter einer anderen Lizenz stehen sowie von Autoren erstellt worden sein, die nicht in der Autorenliste erscheinen. Durch eine noch vorhandene technische Einschränkung werden die Lizenzinformationen für Bilder und Grafiken daher nicht angezeigt. An der Behebung dieser Einschränkung wird gearbeitet. Das PDF ist daher nur für den privaten Gebrauch bestimmt. Eine Weiterverbreitung kann eine Urheberrechtsverletzung bedeuten.

**Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 Unported - Deed**  
Diese "Commons Deed" ist lediglich eine vereinfachte Zusammenfassung des rechtsverbindlichen Lizenzvertrages ([http://de.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Lizenzbestimmungen\\_Commons\\_Attribution-ShareAlike\\_3.0\\_Unported](http://de.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Lizenzbestimmungen_Commons_Attribution-ShareAlike_3.0_Unported)) in allgemeinverständlicher Sprache.  
Sie dürfen:

- das Werk bzw. den Inhalt **vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen**
- **Abwandlungen und Bearbeitungen** des Werkes bzw. Inhaltes anfertigen

Zu den folgenden Bedingungen:

- **Namensnennung** — Sie müssen den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen.
- **Weitergabe unter gleichen Bedingungen** — Wenn Sie das lizenzierte Werk bzw. den lizenzierten Inhalt bearbeiten, abwandeln oder in anderer Weise erkennbar als Grundlage für eigenes Schaffen verwenden, dürfen Sie die daraufhin neu entstandenen Werke bzw. Inhalte nur unter Verwendung von Lizenzbedingungen weitergeben, die mit denen dieses Lizenzvertrages identisch, vergleichbar oder kompatibel sind.

Wobei gilt:

- **Verzichtserklärung** — Jede der vorgenannten Bedingungen kann aufgehoben werden, sofern Sie die ausdrückliche Einwilligung des Rechteinhabers dazu erhalten.
- **Sonstige Rechte** — Die Lizenz hat keinerlei Einfluss auf die folgenden Rechte:
  - Die gesetzlichen Schranken des Urheberrechts und sonstigen Befugnisse zur privaten Nutzung;
  - Das Urheberpersönlichkeitsrecht des Rechteinhabers;
  - Rechte anderer Personen, entweder am Lizenzgegenstand selber oder bezüglich seiner Verwendung, zum Beispiel Persönlichkeitsrechte abgebildeter Personen.
- **Hinweis** — Im Falle einer Verbreitung müssen Sie anderen alle Lizenzbedingungen mitteilen, die für dieses Werk gelten. Am einfachsten ist es, an entsprechender Stelle einen Link auf <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.de> einzubinden.

**Haftungsbeschränkung**  
Die "Commons Deed" ist kein Lizenzvertrag. Sie ist lediglich ein Referenztext, der den zugrundeliegenden Lizenzvertrag übersichtlich und in allgemeinverständlicher Sprache, aber auch stark vereinfacht wiedergibt. Die Deed selbst entfaltet keine juristische Wirkung und erscheint im eigentlichen Lizenzvertrag nicht.

## GNU Free Documentation License

Version 1.2, November 2002

Copyright (C) 2000,2001,2002 Free Software Foundation, Inc.  
51 Franklin St, 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

The purpose of this License is to make a manual, textbook, or other functional and useful document "free" in the sense of freedom: to assure everyone the effective freedom to copy and redistribute it, with or without modifying it, either commercially or noncommercially. Secondly, this License preserves for the author and publisher a way to get credit for their work, while not being considered responsible for modifications made by others. 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, in any medium, that contains a notice placed by the copyright holder saying it can be distributed under the terms of this License. Such a notice grants a world-wide, royalty-free license, unlimited in duration, to use that work under the conditions stated herein. The "Document", below, refers to any such manual or work. Any member of the public is a licensee, and is addressed as "you". You accept the license if you copy, modify or distribute the work in a way requiring permission under copyright law.  
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.  
A "Secondary Section" is a named appendix or a front-matter section of the Document that deals exclusively with the relationship of the publishers or authors of the Document to the Document's overall subject (or to related matters) and contains nothing that could fall directly within that overall subject. (Thus, if the Document is in part a textbook of mathematics, a Secondary Section may not explain any mathematics.) The relationship could be a matter of historical connection with the subject or with related matters, or of legal, commercial, philosophical, ethical or political position regarding them.  
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. If a section does not fit the above definition of Secondary then it is not allowed to be designated as Invariant. The Document may contain zero Invariant Sections. If the Document does not identify any Invariant Sections then there are none.  
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. A Front-Cover Text may be at most 5 words, and a Back-Cover Text may be at most 25 words.  
A "Transparent" copy of the Document means a machine-readable copy, represented in a format whose specification is available to the general public, that is suitable for revising the document straightforwardly with generic text editors or (for images composed of pixels) generic paint programs or (for drawings) some widely available drawing editor, and that is suitable for input to text formatters or for automatic translation to a variety of formats suitable for input to text formatters. A copy made in an otherwise Transparent file format whose markup, or absence of markup, has been arranged to thwart or discourage subsequent modification by readers is not Transparent. An image format is not Transparent if it used for any substantial amount of text. A copy that is not "Transparent" is called "Opaque".  
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, PostScript or PDF designed for human modification. Examples of transparent image formats include PNG, XCF and JPG. Opaque formats include 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, PostScript or PDF 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.  
A section "Entitled XYZ" means a named subunit of the Document whose title either is precisely XYZ or contains XYZ in parentheses following text that translates XYZ in another language. (Here XYZ stands for a specific section name mentioned below, such as "Acknowledgements", "Dedications", "Endorsements", or "History".) To "Preserve the Title" of such a section when you modify the Document means that it remains a section "Entitled XYZ" according to this definition.  
The Document may include Warranty Disclaimers next to the notice which states that this License applies to the Document. These Warranty Disclaimers are considered to be included by reference in this License, but only as regards disclaiming warranties; any other implication that these Warranty Disclaimers may have is void and has no effect on the meaning of this License.

### 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 (or copies in media that commonly have printed covers) 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 computer-network location from which the general network-using public has access to download using public-standard network protocols a complete Transparent copy of the Document, free of added material. 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.  
It is requested, but not required, that you contact the authors of the Document well before redistributing any large number of copies, to give them a chance to provide you with an updated version of the Document.

### 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:

- **A.** Use in the Title Page (and on the covers, if any) a title distinct from that of the Document, and from those of previous versions (which should, if there were any, be listed in the History section of the Document). You may use the same title as a previous version if the original publisher of that version gives permission.
- **B.** List on the Title Page, as authors, one or more persons or entities responsible for authorship of the modifications in the Modified Version, together with at least five of the principal authors of the Document (all of its principal authors, if it has fewer than five), unless they release you from this requirement.
- **C.** State on the Title page the name of the publisher of the Modified Version, as the publisher.
- **D.** Preserve all the copyright notices of the Document.
- **E.** Add an appropriate copyright notice for your modifications adjacent to the other copyright notices.
- **F.** Include, immediately after the copyright notices, a license notice giving the public permission to use the Modified Version under the terms of this License, in the form shown in the Addendum below.
- **G.** Preserve in that license notice the full lists of Invariant Sections and required Cover Texts given in the Document's license notice.
- **H.** Include an unaltered copy of this License.
- **I.** Preserve the section Entitled "History", Preserve its Title, and add to it an item stating at least the title, year, new authors, and publisher of the Modified Version as given on the Title Page. If there is no section Entitled "History" in the Document, create one stating the title, year, authors, and publisher of the Document as given on its Title Page, then add an item describing the Modified Version as stated in the previous sentence.
- **J.** Preserve the network location, if any, given in the Document for public access to a Transparent copy of the Document, and likewise the network locations given in the Document for previous versions it was based on. These may be placed in the "History" section. You may omit a network location for a work that was published at least four years before the Document itself, or if the original publisher of the version it refers to gives permission.
- **K.** For any section Entitled "Acknowledgements" or "Dedications", Preserve the Title of the section, and preserve in the section all the substance and tone of each of the contributor acknowledgements and/or dedications given therein.
- **L.** Preserve all the Invariant Sections of the Document, unaltered in their text and in their titles. Section numbers or the equivalent are not considered part of the section titles.
- **M.** Delete any section Entitled "Endorsements". Such a section may not be included in the Modified Version.
- **N.** Do not retitle any existing section to be Entitled "Endorsements" or to conflict in title with any Invariant Section.
- **O.** Preserve any Warranty Disclaimers.

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, and that you preserve all their Warranty Disclaimers.

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, is called an "aggregate" if the copyright resulting from the compilation is not used to limit the legal rights of the compilation's users beyond what the individual works permit. When the Document is included in an aggregate, this License does not apply to the other works in the aggregate which 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 half of the entire aggregate, the Document's Cover Texts may be placed on covers that bracket the Document within the aggregate, or the electronic equivalent of covers if the Document is in electronic form. Otherwise they must appear on printed covers that bracket 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, and all the license notices in the Document, and any Warranty Disclaimers, provided that you also include the original English version of this License and the original versions of those notices and disclaimers. In case of a disagreement between the translation and the original version of this License or a notice or disclaimer, the original version will prevail.

If a section in the Document is Entitled "Acknowledgements", "Dedications", or "History", the requirement (section 4) to Preserve its Title (section 1) will typically require changing the actual title.

## 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 <http://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 1.2

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".

If you have Invariant Sections, Front-Cover Texts and Back-Cover Texts, replace the "with...Texts." line with this:

with the Invariant Sections being LIST THEIR TITLES, with the

Front-Cover Texts being LIST, and with the Back-Cover Texts being LIST.

If you have Invariant Sections without Cover Texts, or some other combination of the three, merge those two alternatives to suit the situation.

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.