

Коэффициенты Искажения.

Международные термины

V2 04 2016

rev. r29May19y

THD

Total Harmonic Distorsions (THD) – показатель, характеризующий степень отличия формы сигнала от синусоидальной, так же можно сказать это— величина для количественной оценки нелинейных (или гармонических) искажений периодического сигнала.

Внимание: в силовой электротехнике рассматриваются термины характеризующие нелинейность одного конкретного сигнала (например только сигнала выходного тока). Термины характеризующие нелинейность устройства (усилителя, и т.п.) и включающие в расчёт как входной так и выходной сигналы устройства не используются.

ВАЖНО:

1) Коэффициент безразмерный (возможный диапазон значений 0...1), но обычно умножается на 100% для получения значения в %, при этом может обозначаться как THD% (в последнем случае, возможный диапазон значений 0...100%).

2) Существует 2 термина (или 2 определения) или 2 способа расчёта THD - расчёт относительно величины сигнала фундаментальной гармоники (THDf) и расчёт относительно СКЗ всего сигнала (THDr).

Первый термин THDf (см формулу ниже) наиболее известный международный термин и в настоящее время используется широко в силовой электротехнике (если указано THD то по умолчанию подразумевается THDf). (В отечественных источниках в 20м веке обозначался как КНИ, КГ и др.)

Второй термин THDr (см формулу ниже) в 20м веке был широко распространён в русскоязычной (КНИ, КГИ и др.) и немецкоязычной (клиррфактор) эл.тех. справочной литературе, в настоящее время в анализаторах сети и ТХ силового оборудования обозначается как THDr и используется реже чем THDf.

Подробно отечественные обозначения (включая ссылки на источники) рассмотрены в статье " 4 Коэффициенты Искажения V2 2016 термины СССР_РФ ".

I

THD или THDf (total harmonic distorsion fundamental)— величина, выражающая степень нелинейных искажений сигнала, равна отношению среднеквадратичного (СКЗ) значения всех высших гармоник сигнала к **СКЗ** напряжения первой гармоники:

$$\text{THD} = \text{THDf} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots + U_n^2}}{U_1} \quad (1)$$

[ссылки на эту формулу - см ниже, также см ссылки в [7]]

Именно этот термин наиболее часто используется в силовой электротехнике поэтому если индекс **f** не указан то THD означает THDf (по умолчанию **ю**).

Это определение соответствует используемому в большинстве анализаторов сети, например НЮКИЗ197 (и другого оборуд. измеряющего КНИ), указывается в паспортных данных большинства электротехнического оборудования (ДГУ, ИБП, стабилизаторов, и др.).

ВАЖНО:

Этот международный термин THD/THDf указывается в паспортных данных большинства силового оборудования в мире включая оборудование N-Power. Принято решение указывать этот термин без перевода на русский для оборудования N-Power во избежание недоразумений.

Решение применять в ТХ оборудования термин THD (а не КНИ) вызвано тем что, в современных ГОСТ РФ термин КНИ (коэффициент нелинейных искажений) отсутствует, при этом во всей совокупности отечественных источников, включая ГОСТ и эл.технические справочники, коэффициенты характеризующие гармонические искажения обозначаются по разному. Подробно отечественные обозначения приведены в привязанной здесь статье

" 4 Коэффициенты Искращения V2 2016 термины СССР_РФ ".

Поэтому, если в старых инструкциях и ТД Эн-Пауэр были использованы русские термины "коэффициент гармоник", ГИ, КИ, КНИ, КГИ, СКГС, СКГ, КИС, "коэффициент дисторсии" и др., то во всех случаях термин следует читать как современный международный термин THD(THDf).

II

THDr или RHD (residual harmonic distorsion / harmonic distortion RMS) — величина для количественной оценки нелинейных искажений, равная отношению среднеквадратичного значения всех высших гармоник сигнала, к среднеквадратичному значению спектральных компонентов всего сигнала кроме постоянной составляющей:

$$\text{THDr} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots + U_n^2}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots + U_n^2}} \quad (2)$$

[ссылки на эту формулу - см ниже, также см ссылки в [7]]

Замечание 1: нулевая гармоника называется также постоянной составляющей.

Замечание 2: первая гармоника также называется основной или фундаментальной, для обычной сети — это гармоника 50Гц.

Замечание 2: В силовой электротехнике параметр THD(THDf) используется в основном для измерения искажений формы входного или выходного тока и обозначается как: Current THD, THDI. Также параметр используется для характеристики сигнала напряжения, в этом случае он обозначается: THDU. Если указано THDu THDi то имеется ввиду именно THDf [7,8].

Замечание 3: При незначительных величинах гармонического состава, значения THDr и THDf близки.

Замечание 4: в статье THD wikipedia org правильно указано что иногда в том числе в устаревших источниках, под символом THD обозначают THDr (тоесть формулы DHDf и DHDg меняются местами). Примером здесь может служить например некоторые модели анализаторов сети старых версий - например см ссылку [Ссылки Часть 1 [10], Часть 2 [17]].

Замечание 5:

THDf (THD) также называется коэффициентом искажения приведённым к **величине (СКЗ) фундаментальной гармоники**.

THDr также называется коэффициентом искажения приведённым к величине СКЗ полного сигнала (здесь подразумевается полный сигнал без учёта нулевой гармоники).

Соотношения связывающие обе величины:

$$\text{THD} = \text{THDf} = \frac{\text{THDr}}{\sqrt{1 - \text{THDr}^2}}; \quad \text{THDr} = \frac{\text{THDf}}{\sqrt{1 + \text{THDf}^2}}$$

Приведённая выше терминология является общепринятой на международном уровне.

В качестве примера использования этой терминологии можно привести паспорта анализаторов сетевых параметров марок HIOKI и FLUKE (см ссылки). Можно заметить что производитель FLUKE придерживается именно международных обозначений, а не внутренних немецких где вместо THDr исторически используется термин Klirrfaktor. **Определения из паспорта FLUKE полностью соответствует приведённым выше и приведены ниже:**

I

THDf

THDf is the Total Harmonic Distortion compared to the RMS value of the [fundamental frequency](#) value.

THDf is the ratio of the sum of the powers of all [harmonic](#) frequency components (except for the fundamental RMS1) to the power of the fundamental frequency component and is calculated as follows:

$$\text{THDf} = \frac{\sqrt{\text{TotalRMS}^2 - \text{Rms}_0^2 - \text{RMS}_1^2}}{\sqrt{\text{RMS}_1^2}} \times 100 \%$$

Remarks:

- [Total RMS](#) = RMS value of all waveform points (full waveform periods)
- RMS_0 = RMS value of the [DC](#) component
- RMS_1 = RMS value of the [fundamental frequency](#) component

$$\text{RMS}_i = \sqrt{\text{Real}_i^2 + \text{Imag}_i^2} = \sqrt{\text{Power}_i^2}$$

Remarks:

- Real_i = Real part of frequency component i
- Imag_i = Imaginary part of frequency component i

II

THDr

THDr is the Total Harmonic Distortion compared to the RMS value of the total waveform.

THDr is the ratio of the sum of the powers of all [harmonic](#) frequency components (except for the fundamental RMS1) to the power of all harmonic frequency components and is calculated as follows:

$$\text{THDr} = \frac{\sqrt{\text{TotalRMS}^2 - \text{Rms}_0^2 - \text{RMS}_1^2}}{\sqrt{\text{TotalRMS}^2 - \text{RMS}_0^2}} \times 100 \%$$

Remarks:

- [Total RMS](#) = RMS value of all waveform points (full waveform periods)
- RMS_0 = RMS value of the [DC](#) component
- RMS_1 = RMS value of the [fundamental frequency](#) component

$$\text{RMS}_i = \sqrt{\text{Real}_i^2 + \text{Imag}_i^2} = \sqrt{\text{Power}_i^2}$$

Remarks:

- Real_i = Real part of frequency component i
- Imag_i = Imaginary part of frequency component i

Европейский стандарт (EN 62040-3)

Определение THD=THDf в EN 62040-3 идентично общепринятому международному определению (см выше), и рассчитывается как процентное отношение среднеквадратичных значений высших гармоник к базовой (первой) гармонике:

$$\text{THD I \%} = 100 * \sqrt{\frac{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots + I_n^2}{I_1^2}}$$

Дополнение 1 Другие термины характеризующие искажение сигнала

I DISTORTION FACTOR=DISTORTION POWER FACTOR

В других разделах науки и техники вводят другие определения и дополнительные разновидности коэффициента мощности например: "искаженный коэфф. мощности / distortion power factor" или «коэффициент искажения k_n /Distortion factor DF» определяется как отношение скз первой гармоники к скз всего сигнала [17], но в силовой электротехнике (в том числе в справочной литературе по ИБП и в анализаторах сети) такие определения не используются или используются редко:

$$k_n = \text{DF} = \text{distortion factor} = \boxed{\text{distortion power factor}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \text{THD}_f^2}} = \frac{I_{1, \text{rms}}}{I_{\text{rms}}} \quad (1)$$

нерекомендуемый / ошибочный термин

The result when multiplied with the displacement power factor (DPF) is the overall, true power factor or just power factor (PF):

$$\text{PF} = \text{DPF} \frac{I_{1, \text{rms}}}{I_{\text{rms}}} = \text{DPF} \cdot \text{DF} \quad (2)$$

Внимание! В электротехнике аббревиатура DPF зарезервирована под DisplacementPowerFactor поэтому писать DPF вместо DF// это большая ошибка -ведёт к путанице -выше приведён ошибочный этот пример из https://en.wikipedia.org/wiki/Power_factor. (так же и наоборот писать DF вместо DPF// это ошибка)

((Пример этих же формул (<https://de.wikipedia.org/wiki/Leistungsfaktor>), здесь использован "клирфактор" равный THDr для случая нулевой DC гармоники (см статью КНИ))

Zusammen mit dem Grundswingungsgehalt der Stromstärke $g = \frac{I_1}{I}$ oder ihrem Klirrfaktor $k = \frac{\sqrt{I^2 - I_1^2}}{I}$ kann der

Leistungsfaktor auch angegeben werden als^[1]

$$\lambda = \frac{|P|}{S} = \frac{I_1}{I} |\cos \varphi_1| = g |\cos \varphi_1| = \sqrt{1 - k^2} |\cos \varphi_1|.$$

Grundswingungsgehalt g - коэффициент первой(основной) гармоники

$$g = \frac{I_{S1}}{I_S} = \frac{I_{S1}}{\sqrt{I_{S1}^2 + I_{S2}^2 + I_{S3}^2 + \dots}} ; \quad g = \sqrt{1 - k^2}$$

Примечания к немецким обозначениям:

λ (нем. Leistungsfaktor) - это то же что коэффициент мощности, power factor, PF

g (нем. Grundswingungsgehalt) - это то же что K_1 , DF, "коэфф. первой (основной) гармоники"

k (нем. Klirrfaktor) - это тоже что THDr

При этом $g^2 + k^2 = 1$

))

Дополнение 2 Другие формулы THD: нестандартные, необщепринятые, применяемые в специальных областях науки/техники.

Существуют другие определения THD например приведённые ниже но в силовой электротехнике они не используются или редко:

I THD

$$THD = \frac{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_\infty^2}{V_1^2}$$

II THD+N

THD+N обозначает общие искажения плюс шум.

$$THD + N = \frac{\sum_{n=2}^{\infty} \text{harmonic powers} + \text{noise power}}{\text{fundamental power}}$$

III THD%_{audio}

В аудиотехнике возможно обозначение

THD=THD_f=THD%_{audio}

[8]

IV THVD THCD PWHD Partial Weight Harmonic Distortion [14 15 16]

IEC/EN 61000 has introduced limits to a new performance index which is called "Partial Weighted Harmonic Distortion" (PWHD) which gives high order harmonics more impact. In this standard the square of the harmonic divided by the fundamental current has to be multiplied by the harmonic order. Further PWHD is only calculated for the 14th through the 40th harmonic current. The formula for calculation of PWHD is shown in figure 6.

$$PWHD = \sqrt{\sum_{n=14}^{n=40} n \cdot \left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2} \cdot 100\%$$

PWHD = Partial Weighted Harmonic Distortion
THCD = Total Harmonic Current Distortion [%]
THD = Total Harmonic Distortion [%]
THVD = Total Harmonic Voltage Distortion [%]

Figure 6: Calculation of PWHD per IEC/EN 61000

IV THD Другая формула [16]

Некоторые стандарты вводят определения с ограничением числа учитываемых гармоник например IEC 61000-3-12 как показано ниже (это ошибка тк оборудование может учитывать всего например 25 гармоник то есть стандарт запрещает его использование, или наоборот прибор может мерять 50 гармоник и выше значит для этого оборудования стандарт принуждает снизить(ухудшить) точность измерения намеренно):

according to IEC 61000-3-2:2006

The THD is the ration between the [r.m.s. value](#) of the sum of the harmonic components (2nd – 40th harmonic, so from 100-2000 Hz so not including the ground harmonic of 50 Hz) and the r.m.s. value of the fundamental component (the ground harmonic, with 50 Hz).

$$THD[-] = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} \left(\frac{I_h}{I_1}\right)^2}$$

V THD другая формула [8]

THD может определяться для любой нагрузки как отношение **суммарной** мощности нагрузки к мощности первой гармоники.

Причем точно не указывается полная это мощность или активная.

Der **THD** ist definiert als das Verhältnis der summierten Leistungen P_h aller Oberschwingungen zur Leistung der Grundschiwingung P_1 .

$$\text{THD}_{\%} = \frac{P_h}{P_1} \cdot 100 \qquad \text{THD}_{\text{dB}} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_h}{P_1} \right)$$

VI TDD [доп.10] IEEE 519

Current TDD: Total Demand Distortion of the current waveform. The ratio of the root-sum-square value of the harmonic current to the maximum demand load current.[1]

$$I_{\text{TDD}} = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + I_5^2 + \dots}}{I_L} \times 100\%$$

Термин TDD не применяется ни в одном анализаторе сети ни в одной инструкции на электротехническое оборудование. И не будет принят так как он ошибочный - вот ошибки:

-Термин demand (ток потребления -demand current) следует признать избыточным/ ненужным. У нагрузки есть только один ток и это ток потребления.

-Применяется термин I_L определяемый как

I_L = maximum demand load current (fundamental frequency component) at PCC.

-в формуле стоят параметры тока потребляемого нагрузкой то с индексом L (в знаменателе) то без него.

Это запрещено. Нельзя писать в формуле один и тот же параметр по разному в разных местах формулы.

Либо везде надо ставить L

Либо везде убрать L

Если же признать что в числителе L не нужно тогда формула становится бессмысленной так как непонятно чей ток стоит в числителе.

- в технике наиболее распространено значение индекса L - индуктивность а не нагрузка

L-load нагрузка -английский термин. а L-инд - давний международный.

-если исправить все ошибки то термин превращается в международный термин THDr -см например его правильную формулу из HELP анализатора FLULE. То есть термин дублирует уже известный а потому избыточен/не нужен.

Ссылки Часть 1

[1] Ф.Е.Евдокимов Теоретические основы электротехники М., Академия 2004 с.262.

[2] Г.И. Атабеков Основы Теории Цепей с.176, 434с.

[3] Анализатор сети Fluke 435 Руководство пользователя, программное обеспечение (HELP).

[4] Справочник по радиоэлектронным устройствам: В 2-х т.; Под ред. Д. П. Линде — М.: Энергия, 1978

[5] Горохов П. К. Толковый словарь по радиоэлектронике. Основные термины — М: Рус. яз., 1993

[6] <http://ru.wikipedia.org/> Коэффициент нелинейных искажений

[7] https://en.wikipedia.org/wiki/Total_harmonic_distortion

[8] <http://de.wikipedia.org/wiki/THDi> https://de.wikipedia.org/wiki/Total_Harmonic_Distortion

<https://de.wikipedia.org/wiki/Klirrfaktor>

https://de.wikipedia.org/wiki/Elektrische_Leistung

[9] П.Шпритек Справочное руководство по звуковой схемотехнике 3.1.1, Москва Мир 1991

[10] Анализатор сети DMK62 Lovato Руководство пользователя.

http://www.lovatoelectric.com/RICERCA/ITALIANO/03_ISTRUZIONI/I104IGBFE04_08.PDF

[11] ГОСТ 8.331-99 ГСИ. Измерители коэффициента гармоник. Методы и средства поверки и калибровки

ГОСТ 8.110-97 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерения коэффициента гармоник

[12] ГОСТ 13109-97

[13] Анализатор сети НЮКИ3197 Руководство пользователя

[14] http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/AF4DDB73-B11C-4886-B1E0-3F76C1ACDF06/0/inst_po_garmonikam_ENG.pdf



MN.90.F1.02 - VLT is a registered Danfoss trademark

[15] http://www.atecorp.com/atecorp/media/pdfs/data-sheets/voltech-pm3000a_notes.pdf

[16] iec 61000-3-12 **IEC 61000-3-2:2006**

DIN-EN 61000-2-4 / VDE 0839 Teil 2-4: *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)*. Mai 2005.

[17] http://en.wikipedia.org/wiki/Power_factor

http://en.wikipedia.org/wiki/Distortion_power_factor ---//---Power factor

С замечаниями по содержанию этого раздела просьба обращаться: tech@n-power.ru.

[18] The Power Electronics Handbook // Industrial Electronics Series // Edited by TIMOTHY L.

SKVARENINA Purdue University West Lafayette, Indiana // CRC PRESS

Boca Raton London New York Washington, D.C. 2002y.

(формула THD -см формулу (17.63) страница 521)

[19] [Iaroslav Blagouchine and Eric Moreau. Analytic Method for the Computation of the Total Harmonic Distortion by the Cauchy Method of Residues. IEEE Transactions on Communications, vol. 59, no. 9, pp. 2478—2491, September 2011.](#)

в этом источнике приведена стандартная формула THD:

$$\text{THD}[x(t)] = \sqrt{\frac{P_{\text{har}}}{P_{\text{sig}}}}$$
$$= \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} (a_n^2 + b_n^2)}{a_1^2 + b_1^2}} = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} |c_n|^2}{|c_1|^2}}$$

Дополнительный список. Стандарты сети.

Ссылки Часть 2

[1] <http://www.380v.ru/reference/tech-articles/231-thd-special>

[2] <http://www.380v.ru/reference/terminology/147-power-quality>

[3] ГОСТ 13109-97

[4] EN 62040-3 (A.M. THD) (платный стандарт)

http://en.wikipedia.org/wiki/Power_factor

[5] IEC 555-2 (IEC/EN 61000-3-2) [ГОСТ Р 51317. 3.2-99 \(МЭК 61000-3-2-95\)](#)

Harmonics standard IEC 61000-3-2 Ed. 3 2005

This standard assesses and sets the limit for equipment that draws input current $\leq 16\text{A}$ per phase.

Equipment that draws current $> 16\text{A}$ and $\leq 75\text{A}$ per phase is covered by IEC/TS 61000-3-12.

Harmonics measurement and evaluation methods for both standards are governed by IEC 61000-4-7.

[7] IEC60038

[8] <http://www.dnvkema.com/Images/Regulation%20of%20Voltage%20Quality.pdf>

[9] EN 50160

[10] IEEE519

* Application of IEEE Std 519- 1992 Harmonic Limits Thomas Blooming, P.E. Daniel J. Carnovale, P.E.

IEEE IAS Atlanta Section September 17, 2007nd IEEE IAS 52 Pulp&Paper Appleton,Wisconsin June 19, 2006

* Interpreting IEEE Std 519 and Meeting its Harmonic Limits in VFD Applications

Copyright Material IEEE
Paper No. PCIC-2003-15

Tony Hoevenaars, P. Eng.
Member IEEE
Mirus International Inc.
#12, 6805 Invader Cres.
Mississauga, ON L5T 2K6
Canada

Kurt LeDoux, P.E.
Member, IEEE
Toshiba International Corp.
13131 West Little York Rd.
Houston, TX 77041
USA

Matt Colosino
Crescent Power Systems, Inc.
129 Polk St.
New Orleans, LA 70124
USA

*

[11] [Power Factor](#) Power Factor Limits. Supply Voltage. Power Factor Range for Customer Maximum Demand & Voltage. Up to 100 kVA. Between 100 kVA & 2 MVA. Over 2 MVA. Minimum Lagging.

www.tpsolutions.com.au/html/power_factor_.html (y - power factor limits)

[12] Technical Data SA02607001E Power factor correction: a guide for the plant engineer

[13] <http://frontwind.com/Analysis%20of%20the%20requirements%20in%20selected%20Grid%20Codes.pdf>

Analysis of requirements in selected Grid

Codes / Willi Christiansen & David T. Johnsen (y UK power factor limits)

[14] Ограничение пусковых токов в устройствах коррекции КМ /Алиберти Джеймс http://kit-e.ru/articles/powerel/2008_11_92.php

http://baracoa-iluminador.ya.ru/replies.xml?item_no=8

[15] ГОСТ 29322-92(2004)

[16] ГОСТ 45.188-2001

[17] паспорт анализатора сети Lovato DMK30 - DMK31 - DMK32 - DMK40 Multimetro Digitale |103| GB
F E 04 08 31100002 www.LovatoElectric.com

Distorsione armonica totale (thd).

Total Harmonic Distorsion (thd).

Distorsion hamonique totale (thd).

Distorsión armónica total (thd).

Distorsione armonica residua (rhd).

Residual Harmonic Distorsion (rhd).

Distorsion hamonique résiduelle (rhd).

Distorsión armónica residual (rhd).

$$THD = \sqrt{\frac{\sum (T_n)^2}{(T_1)^2 + \sum (T_n)^2}}$$

$$RHD = \sqrt{\frac{\sum (T_n)^2}{(T_1)^2}}$$