

ТЕОРЕТИЧЕН АНАЛИЗ И МОДЕЛИРАНЕ НА ХАРМОНИЧНИЯ СЪСТАВ НА НАПРЕЖЕНИЕТО В АСИНХРОННИ ЧЕСТОТНИ ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНИЯ

Иван Костов, Шабан Узунов, Теодора Ангелова, Ембие Мустафа
Технически университет София, филиал Пловдив

THEORETICAL ANALYSIS AND MODELING OF VOLTAGE HARMONIC SPECTRA OF INDUCTION MOTORS FREQUENCY CONTROLLED ELECTRICAL DRIVES

Ivan Kostov, Shaban Ouzunov, Teodora Angelova, Embie Mustafa
Technical university Sofia, branch Plovdiv

Abstract

Electrical drives consume more than 65% of produced electricity. Over 90% of them are three-phase induction motors with an average efficacy between 70% - 90% that are used mostly in industrial plants. The increase of the number of power electronic converters (often frequency converters with intermediate DC link) enhances the need to further examine the problem of their impact on the motors. This paper presents a theoretical evaluation of the harmonic spectra of frequency converters voltage. Basic concepts and quantitative assessment of non-sinusoidal periodic signals are classified. An approach for determining the harmonic spectra of the voltage by sinusoidal PWM is presented. Simulation models for analysis of non-sinusoidal periodic signals are developed. The possibilities of using these signals directly or with sinusoidal filters for supply of induction motors in operation mode and for testing are analyzed.

ВЪВЕДЕНИЕ

С усъвършенстването на силовите преобразуватели за честотни електрозадвигвания (ЕЗ) се увеличават изискванията и необходимостта за оценка на свойствата на двигателите в новите условия на експлоатация. Известно е [2], че преобразувателите работят с различни видове модулация с високи модулационни честоти. В резултат на това изходното напрежение на преобразувателя представлява поредица от правоъгълни импулси с постоянна амплитуда и с хармоничен състав, зависим от вида и коефициентите на модулацията, модулационната честота и свързването на двигателя, а много често в изхода на ПЧ се включват силови филтриращи елементи. Всичко това затруднява непрекъснатото измерване на наблюдаваните величини [2]. В редица случаи работата с модулирани сигнали е източник на опасни въздействия (електромагнитно излъчване, електростатични разряди и др.), които допълнително влошават надеждността на електрозадвигванията. Статията дава отговор на въпроса за приложимостта на ПЧ с МЗПТ без и със синусоидални филтри в изхода си в електрозадвигвания с асинхронни двигатели с накъсосъединен ротор. Изследването е

проведено с математични методи за анализ на статични режими на основата на класическата теория на хармоничния анализ, подпомогнати от симулиращи програми. Крайните резултати са представени в табличен и графичен вид.

ПОКАЗАТЕЛИ НА ХАРМОНИЧНИЯ СЪСТАВ

За оценка на несинусоидалните периодични величини в електроенергетиката и радиотехниката се използват следните характеристични коефициенти [1,3]: на формата; на амплитудата; на деформиране; на хармоника; на нелинейните изкривявания; на хармониците на напрежението.

- **коефициент на формата:** коефициентът на формата k_f представлява отношение на ефективната стойност към изправената средна стойност на несинусоидалната величина [1]

$$k_f = U_{RMS} / U_{AV} = U / U_{AV}, \quad (1)$$

където:

U_{RMS} = U - ефективна стойност на несинусоидалната величина;

U_{AV} - изправената средна стойност на несинусоидалната величина.

- **коефициент на деформиране:** коефициентът на деформиране k_D се определя като отношение на ефективната стойност на първия хармоник към ефективната стойност на величината [1]

$$k_D = U_{RMS1} / U_{RMS} = U_1 / U, \quad (2)$$

където:

U_{RMS1} = U_1 - ефективна стойност на първия хармоник на величината.

- **коефициент на амплитудата:** коефициентът на амплитудата k_a се определя като отношение на максималната стойност на величината към нейната ефективна стойност [1]

$$k_a = U_m / U, \quad (3)$$

където:

U_m - максимална стойност на величината.

- **коефициент на хармоника:** коефициентът на хармоника k_v се определя като отношение на ефективната стойност на хармоника с пореден номер v към ефективната стойност на първия хармоник [1]

$$k_v = U_v / U_1, \quad (4)$$

където:

U_v - ефективна стойност на първия хармоник на величината.

- **коефициент на нелинейните изкривявания (коефициент на несинусоидалност, клирфактор, THD):** коефициентът на нелинейните изкривявания k_{THD} се определя като отношение на ефективната стойност на висшите хармоници с пореден номер $k \geq 2$ към ефективната стойност на първия хармоник [1]

$$k_{THD} = \sqrt{\sum_{v=2}^{\infty} U_v^2} / U_1 \quad (5)$$

- **претеглен коефициент на нелинейните изкривявания (претеглен коефициент на несинусоидалност):** претегленият коефициент на нелинейните изкривявания k_{HVF} се определя като отношение на ефективната стойност на висшите хармоници с пореден номер $k \geq 2$ към ефективната стойност на първия хармоник [1]

$$k_{HVF} = \sqrt{\sum_{v=2}^{\infty} \frac{U_v^2}{v^\alpha}} / U_1 \quad (6)$$

където:

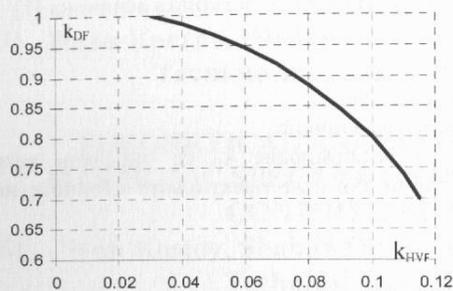
α - параметър [3]; $\alpha=1(2)$.

Този коефициент се използва за оценка на несинусоидалността на захранващото напрежение на двигателите при изпитване. Така записан се отнася за напрежението на индуктивни товари; за капацитивни товари вж. [3].

- коефициент на понижаване на номиналната мощност: коефициентът на понижаване на номиналната мощност k_{DF} се определя като отношение на допустимата мощност на двигателя при експлоатация с влошен хармоничен състав P_H към номиналната му мощност P_N [2]

$$k_{DF} = P_H / P_N$$

Коефициентите на несинусоидалност, изчислени по (6) за $\alpha=1$ са предназначени за



Фиг.1 Зависимост на k_{DF} от k_{HVF}

$$\eta_H = k_{DF}^2 / (\eta^{-1} + k_{DF}^2 - 1)$$

оценка на топлинното нагряване и допълнителните загуби на активна мощност в намотките на АД. Работата с влошен k_{HVF} се отразява на k_{DF} и коефициента на полезно действие η_H . На фиг. 1 е показана зависимостта на k_{DF} от k_{HVF} . Вижда се, че възможността за експлоатацията на двигателя по мощност се ограничава от 1 до 0.7 при изменение на k_{HVF} от 0.030 до 0.115.

Изчислението на влошения коефициент на полезно действие η_H на двигателя в зависимост от коефициента на полезно действие η при синусоидален режим и k_{DF} се извършва [2] по (8)

МАТЕМАТИЧЕН АНАЛИЗ НА МОДУЛИРАНИ ПЕРИОДИЧНИ СИГНАЛИ

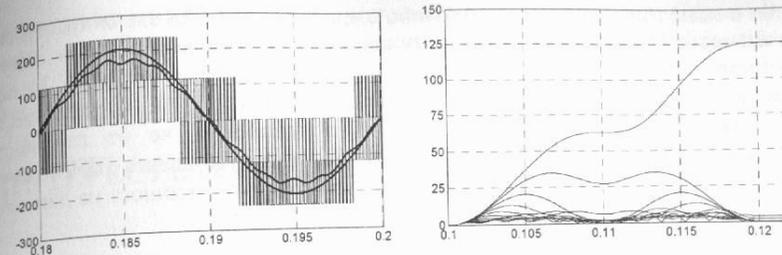
Анализът на модулирания сигнал се извършва с помощта на преобразуването на Фурие [1]:

$$U_{Avm} = \frac{2}{T} \int_{t-T}^t f(t) \cos(v\omega t) dt ; U_{Bvm} = \frac{2}{T} \int_{t-T}^t f(t) \sin(v\omega t) dt ; U_{vm} = \sqrt{U_{Avm}^2 + U_{Bvm}^2} ; \Psi_v = \arctg \frac{U_{Avm}}{U_{Bvm}}$$

Тук $T=1/f$ - период на основната честота; U_{Avm}, U_{Bvm} - коефициенти на Фурие; U_{vm} - амплитуди на постоянната съставка и на хармоничните; Ψ_v - ъгъл на хармоника, определян за четирите квадранта.

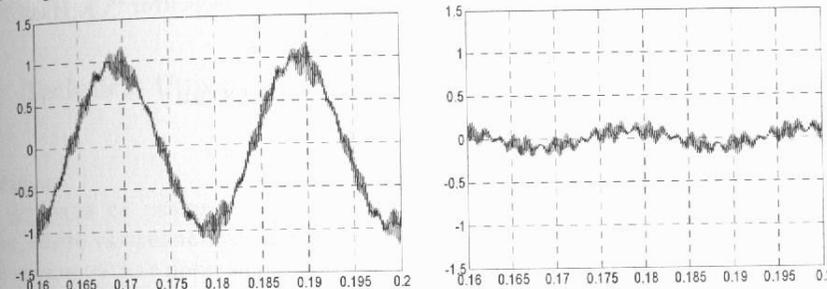
На основата на анализа е разработен модел на честотно асинхронно електрозадвижване, състоящо се от идеализиран трифазен източник на модулирано променливо напрежение, силов синусоидален филтър и асинхронен двигател. Захранващият източник работи със синусоидална ШИМ, модулационна честота $f_c=5$ kHz и максимална стойност на постоянното напрежение $U_{DC} = 234\sqrt{2}$ V. Синусоидалният филтър е с параметри: $R_L = 0.15 \Omega$; $L = 30$ mH; $C = 1 \mu F$. Ефективната стойност на фазното напрежение след филтъра е 124 V при 50Hz. Моделът на АД с $P_N = 0.750$ kW; $U_N = 380$ V; $f = 50$ Hz; $z_p=2$ е реализиран с помощта на Т-образна заместваща схема с постоянни параметри без отчитане на насищането: $R_s = 10.2 \Omega$; $L_s = 0.026$ H; $R_r = 10.52 \Omega$; $L_r = 0.061$ H; $L_m = 0.457$ H. Моделът на хармоничния анализатор представлява подсистема, която определя амплитудите и фазите на периодичния сигнал до 13^{ти} хармоник. Максималното време на стъпката на квантоване в модела е ограничено на 10 μs .

На фиг.2а,б са показани резултати от работата на ШИМ и хармоничния анализатор за сигнала след филтъра при $f = 50$ Hz.



Фиг.2 Напрежение на захранващия източник и на двигателя (а). Хармоничен състав на напрежението (б) след синусоидалния филтър. U,V; t,s

На фиг.3а,б са показани резултати от работата на ЕЗ (консумиран ток и ток през кондензаторите на синусоидалния филтър).



Фиг.3 Консумиран ток (а) и ток през кондензаторите (б) на филтъра в модела на електрозадвижването. I,A; t,s

Получени са следните оценки за показателите на хармоничния състав при честота на захранващото напрежение $f = 50$ Hz:

$K_{THD} = 0.0386$ след и $K_{THD} = 0.0236$ преди филтъра;

$K_{HVF} = 0.01298$ след и $K_{HVF} = 0.0099$ преди филтъра.

В таблицата е дадена оценка на амплитудите (U) и фазите (Ψ) на хармониците на напрежението при $f = 50$ Hz след и преди филтъра.

v, №	$U_{Ад}, V$	$\Psi_{Ад}, rad$	$U_{Пч}, V$	$\Psi_{Пч}, rad$	v, №	$U_{Ад}, V$	$\Psi_{Ад}, rad$	$U_{Пч}, V$	$\Psi_{Пч}, rad$
1	125.4	-0.0148	131.7	-0.0002	8	0.1345	-2.986	0.1074	-2.874
2	0.0922	3.111	0.1088	-2.981	9	0.1242	2.276	0.0804	2.399
3	0.0472	1.791	0.0573	1.937	10	0.2193	-0.1754	0.1057	-0.0139
4	0.0921	-0.2047	0.1083	-0.0709	11	0.2011	-1.567	0.0605	-1.329
5	2.175	3.054	2.441	-3.125	12	0.4304	-2.33	0.049	-1.673
6	0.0633	-1.718	0.0662	-1.606	13	3.809	-2.666	0.5645	0.0161
7	1.966	-0.1158	1.809	-0.0038					

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Систематизирани са основни понятия и количествени оценки на периодичните несинусоидални сигнали.

2. Разработен е модел на честотно асинхронно електрозадвигване със синусоидална ШИМ и хармоничен анализатор на захранващото напрежение (без и със силов синусоидален филтър).

3. Получени са оценки на показатели на хармоничния състав.

Основният извод от проведеното теоретично изследване е, че от гледна точка на хармоничен състав на напрежението ПЧ с МЗПТ и синусоидална ШИМ могат да се използват за управление на АД без да се коригира номиналната мощност на двигателите.

ЛИТЕРАТУРА

1. Генов Л., Теоретични основи на електротехниката, Техника, 1991.

2. Arrillaga J., B.C.Smith, N.R.Watson, A.R.Wood, Power System Harmonic Analysis, John Wiley & Sons, 2000, ISBN 0 471 97548 6.

3. Сидеров С., Н. Матанов, Б. Бойчев, В. Георгиев, Алгоритъм за оценка на основни показатели на електромагнитна съвместимост в електроснабдителни системи с микропроцесорен анализатор, 50 години Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", Годишник, том 46, свитък III, София, 2003, стр. 175-179.

Рецензент: доц. д-р Албена Танева

Научни трудове на Съюза на учените в България–Пловдив Серия В. Техника и технологии, том IX., Съюз на учените сесия 10-11 Ноември 2011 Scientific research of the Union of Scientists in Bulgaria-Plovdiv, series C. Technics and Technologies, Vol. IX., Union of Scientists, ISSN 1311-9419, Session 10-11 November 2011

ИНТЕРЕСУВАТ ЛИ СЕ БЕНЕФИЦИЕНТИТЕ ОТ JEREMIE?

Доц.д.р Тони Михова,
Технически университет, София – филиал Пловдив
expert2009@abv.bg

IS THERE INTEREST AMONG BENEFICIARIES IN JEREMIE?

Assos. Prof. Toni Mihova, PhD,
Technical University, Sofia – branch Plovdiv, expert2009@abv.bg

Резюме

В доклада са разгледани същността на инициативата JEREMIE и преферентните условия, които тя предоставя на кредитополучателите. На база на изследване в 300 малки и средни предприятия е показан интереса на потенциалните кандидати към този инструмент за финансов инженеринг, анализирани са резултатите и е направено обобщение за отношението на мениджърите към JEREMIE.

Abstract

In her report the author examines the JEREMIE initiative and the preferential conditions it grants to loan recipients. Based on the survey carried among 300 SMEs, the interest on the part of potential beneficiaries in this financial engineering tool is presented, the results are analyzed and a summary on the attitude of managers towards JEREMIE is made.

Увод

В последните години, акцентът в публикациите, свързани с малките и средни предприятия е изключително върху повишаването на тяхната конкурентоспособност. В много от тях са разкрити възможностите, които предоставя Оперативната програма «Конкурентоспособност» /ОПК/, посочени са и резултатите от управлението на проектите. Все още голяма част от тези възможности са нереализирани поради причини от различно естество, които заслужават да бъдат анализирани с оглед преодоляването им. Едно от тези възможности за преферентно финансиране на МСП е JEREMIE.

1. Същност на JEREMIE

Какво представлява JEREMIE? Анализът на публикациите по тази тема ще ни даде възможност да формулираме кратко определение – “инструмент на регионалната политика и финансов инженеринг” [1].

С цел улесняване на достъпа до финансиране за развитие на бизнеса, в партньорство с Европейския инвестиционен фонд (ЕИФ) е създадена нова инициатива – Joint European Resources for Micro to Medium Enterprises – JEREMIE (Обединени европейски ресурси за подкрепа на малки и средни предприятия). Тя е въведена през 2006 г. след оценка на пропуските при обезпечаването на продуктите на финансовия инженеринг в страните-