

11 НАЦИОНАЛНА НАУЧНО ПРИЛОЖНА КОНФЕРЕНЦИЯ  
ЕЛЕКТРОННА ТЕХНИКА - 93

ОПРЕДЕЛЯНЕ И АНАЛИЗ НА ХАРМОНИЧНИЯ  
СЪСТАВ НА ТОКА НА ИНДУКТИВНО-ТИРИСТОРЕН КОМПЕНСАТОР

доц.к.т.н.инж.Евгени Попов  
асп.ас.инж.Доцка Сотирова Петкова

Голяма част от преобразователните устройства имат следния проблем: силна зависимост на изходното напрежение от параметрите на товара и непълноценно използване на изходния кондензатор. Това налага да се вземат мерки за управление и стабилизиране на изходното напрежение. В [1,2] и в много други научни трудове са показани и разгледани подробно някои от начините за регулиране и стабилизиране на изходното напрежение.

Индуктивно-тиристорният компенсатор (фиг.1), свързан в изхода на съответното преобразователно устройство, способствува изходния кондензатор да се използва по-пълноценно. Знаем, че той е проектиран за най-лошото  $\cos \varphi$  на товара. Принципът на действие на индуктивно-тиристорния компенсатор се основава на включване на аналог на регулируема индуктивност, с цел компенсирание на реактивната мощност на изходния кондензатор в условията на измененията на тока в товара.

Познаването на хармоничния състав на тока на индуктивно-тиристорния компенсатор в този случай е много важно за проектиране и на самото преобразователно устройство.

Нашата цел е да дадем относително прост метод за решаване на този проблем чрез компютърна симулация.

Статията се ограничава в изследването само на процесите, които протичат в индуктивно-тиристорния компенсатор.

На фиг.1 е показана схемата на свързване на компенсатора, а на фиг.2 са показани графичните зависимости между токовете и напреженията на индуктивно-тиристорен компенсатор при различни ъгли на регулиране  $\alpha$  на тиристорите  $T_{K1}$  и

$T_{K2}$

ИНДУКТИВНО-ТИРИСТОРНИЯ КОМПЕНСАТОР СЪЗДАВА СЪСТАВКА НА ТОКА, КОЯТО ИЗОСТАВА НА ЪГЪЛ  $\pi/2$  ОТ ТОВАРНОТО НАПРЕЖЕНИЕ  $U_T$  И Е НАСОЧЕНА СРЕЩУ  $I_C$ , КАТО КОМПЕНСИРА НЕГОВОТО ДЕЙСТВИЕ

СТАБИЛИЗИРАЩОТО ДЕЙСТВИЕ НА КОМПЕНСАТОРА СЕ ОСНОВАВА НА ТОВА, ЧЕ ПРИ ИЗМЕНЕНИЕ НА ТОКА В ТОВАРА СЕ ИЗВЪРШВА ПРОМЯНА И В САДЪРЖАНЕТО НА МОМЕНТИТЕ НА ОТПУШВАНЕ НА ТИРИСТОРИТЕ  $T_{K_1}$  И  $T_{K_2}$  ОТНОСНО МОМЕНТА НА ОТПУШВАНЕ НА ТИРИСТОРИТЕ В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛНОТО УСТРОЙСТВО. В РЕЗУЛТАТ НА ТОВА СЕ ИЗМЕНЯ ЕКВИВАЛЕНТНАТА ИНДУКТИВНОСТ НА КОМПЕНСАТОРА И СЪОТВЕТНО ТОКА  $I_K$  ПРЕЗ КОМПЕНСАТОРА.

НАШАТА ЦЕЛ Е ДА РАЗГЛЕДАМЕ ЗАВИСИМОСТТА НА ТОКА  $I_K$  ПРЕЗ КОМПЕНСАТОРА И ПО ТОЧНО НА НЕГОВИТЕ ХАРМОНИЦИ ОТ РАЗЛИЧНИТЕ ЪГЛИ НА УПРАВЛЕНИЕ  $\alpha$

ПРИНЦИПЪТ НА ДЕЙСТВИЕ НА ИНДУКТИВНО-ТИРИСТОРНИЯ КОМПЕНСАТОР, КАКТО СЕ ВИЖДА ОТ ФИГ. 1 СЕ ОСНОВАВА НА ИЗПОЛЗВАНЕТО НА АНТИПАРАЛЕЛНО СВЪРЗАНИ ТИРИСТОРИ, СВЪРЗАНИ ПОСЛЕДОВАТЕЛНО С ИНДУКТИВНОСТТА  $L$ .

ИЗХОЖДАЙКИ ОТ [3] СЕ ВИЖДА, ЧЕ:

$$S^2 = P^2 + Q_r^2 + D_s^2 \quad (1)$$

КЪДЕТО

$S = U \cdot I$	- Е ПЪЛНАТА МОШНОСТ;
$P = U I \alpha$	- АКТИВНАТА МОШНОСТ;
$D_s = U I_s$	- МОШНОСТТА, ОБУСЛОВЕНА ОТ ТОКА НА ИЗКРИВЯВАНЕ;
$Q_r = U \cdot I_r$	- МОШНОСТТА, ОБУСЛОВЕНА ОТ РЕАКТИВНИЯ ТОК.

НИЕ СЕ БАЗИРАМЕ НА УРАВНЕНИЕ (2), КАТО ЗА ДА СЕ

$$S^2 - P^2 = Q_r^2 + D_s^2 \quad (2)$$

ПОЛУЧАТ ДОСТАТЪЧНО ДОБРИ ЕНЕРГИЙНИ ПОКАЗАТЕЛИ СУМАТА В ДЯСНО ТРЯБВА ДА СЕ МИНИМИЗИРА.

ТОВА ОТЧАСТИ СЕ ПОСТИГА С ИНДУКТИВНО-ТИРИСТОРНИЯ КОМПЕНСАТОР, ПОКАЗАН НА ФИГ. 1.

ЗА ДА ОПРЕДЕЛИМ ХАРМОНИЧНИЯ СЪСТАВ НА ТОКА ПРЕЗ КОМПЕНСАТОРА ИЗХОЖДАМЕ ОТ УРАВНЕНИЕ (3).

$$u = -U_m \cdot \sin \omega t \quad (3)$$

ИДЕАЛИЗИРАЙКИ ТИРИСТОРИТЕ ИСПОЛЗУВАМЕ ФАКТА, ЧЕ:

$$u = -L \frac{di}{dt} \Rightarrow$$

$$i = \frac{1}{L} \int u dt \quad (4)$$

ЗАМЕЩВАЙКИ (3) В (4), ПОЛУЧАВАМЕ КАТО КРАЕН РЕЗУЛТАТ:

$$i = \frac{U_m \cos \omega t}{\omega L} + A \quad (5)$$

ОПРЕДЕЛЯНЕТО НА ИНТЕГРАЦИОННАТА КОНСТАНТА А СТАВА СЛЕД ОТЧИТАНЕ ОТ ФИГ.2 НА ФАКТА, ЧЕ:

$$i(-\frac{\pi}{2} + \alpha) = 0 \Rightarrow i = \frac{U_m \cos \omega t}{\omega L} - \frac{U_m}{\omega L} \sin \alpha \quad (6)$$

ВЗЕМАМЕ ПРЕДВИД ОТ ФИГ.2, ЧЕ:

$$i = 0 \quad \text{за} \quad \alpha \geq \omega t \geq 0$$

$$i = \frac{U_m \cos \omega t}{\omega L} - \frac{U_m}{\omega L} \sin \alpha \quad \text{за} \quad \alpha \leq \omega t \leq \pi - \alpha$$

$$i = 0 \quad \text{за} \quad \pi - \alpha \leq \omega t \leq \pi$$

ПЕРИОДЪТ НА ФУНКЦИЯТА Е  $2\pi$ , А СИМЕТРИЯТА Е ОТ IV РОД. РАЗЛАГАМЕ В РЕД НА ФУРИЕ ТОКА НА ИНДУКТИВНО-ТИРИСТОРНИЯ КОМПЕНСАТОР.

$$i = b_1 \sin \omega t + \sum_{k=1}^{\infty} b_{2k+1} \sin(2k+1)\omega t \quad (7)$$

КЪДЕТО:

$$b_1 = \frac{U_m}{\omega L} \left( 1 - \frac{2\alpha}{\pi} - \frac{1}{\pi} \sin 2\alpha \right) \quad (8)$$

ИЛИ

$$L_{\text{екв}(1)} = \frac{L}{1 - \frac{2\alpha}{\pi} - \frac{1}{\pi} \sin 2\alpha} \quad (9)$$

$$b_{2k+1} = \frac{U_m}{\omega L_k} \left\{ -\frac{1}{(2k+1)\pi} \cdot \left[ \frac{\sin(k+1)2\alpha}{k+1} + \frac{\sin 2k\alpha}{k} \right] \right\}$$

$$b_{2k+1} = \frac{U_m}{\omega L_k} \cdot f_{2k+1}(\alpha)$$

$$f_{2k+1}(\alpha) = -\frac{1}{(2k+1)\pi} \left[ \frac{\sin 2(k+1)\alpha}{k+1} + \frac{\sin 2k\alpha}{k} \right]$$

НА БАЗАТА НА ИЗВЕДЕНИТЕ УРАВНЕНИЯ Е СЪСТАВЕНА ПРОГРАМА НА FORTRAN 77 ЗА IBM PC/AT.

ПРОГРАМАТА ДАВА ВЪЗМОЖНОСТ И ЗА ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА КОЕФИЦИЕНТА НА ФОРМАТА НА ТОКА  $K_I$  ПРИ ВСИЧКИ ПРОМЕНИ, КОИТО МОГАТ ДА СЕ РЕАЛИЗИРАТ, КАТО НАПРИМЕР ИЗРЯЗВАНЕ НА НЯКОИ ОТ ХАРМОНИИТЕ. СЪЩЕСТВУВА ВЪЗМОЖНОСТ ЗА СНЕМАНЕ НА ГРАФИЧНИ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ  $K_I$  И  $\alpha$ , А СЪЩО ТАКА И ГРАФИЧНИ ЗАВИСИМОСТИ ПОКАЗВАЩИ ИЗМЕНЕНИЕТО НА ВСЕКИ ЕДИН ХАРМОНИК ВЪВ ФУНКЦИЯ ОТ ЪГЪЛА НА РЕГУЛИРАНЕ  $\alpha$ .

РЕЗУЛТАТИТЕ ОТ СИМУЛИРАНЕТО НА ИНДУКТИВНО-ТИРИСТОРНИЯ КОМПЕНСАТОР СА ПОКАЗАНИ НА ФИГ.3. НА ФИГ.4 Е ПОКАЗАНА ЗАВИСИМОСТТА НА КОЕФИЦИЕНТА ФОРМАТА НА ТОКА ОТ  $\alpha$ . ПРИ РАЗРАБОТВАНЕТО НА ПРОГРАМАТА СЕ ОКАЗА, ЧЕ ОТЧИТАЙКИ ХАРМОНИИ ПО-ГОЛЕМИ ОТ 45 КОЕФИЦИЕНТА НА ФОРМАТА НА ТОКА  $K_I$  НЕ СЕ ПРОМЕНЯ. ПРЕНЕБРЕГВАЙКИ ГИ НИЕ НЯМА ДА ОКАЖЕМ ВЪЗДЕЙСТВИЕ ВЪРХУ  $K_I$ , А СЛЕДОВАТЕЛНО И ВЪРХУ ЕНЕРГИЙНИТЕ ПОКАЗАТЕЛИ.

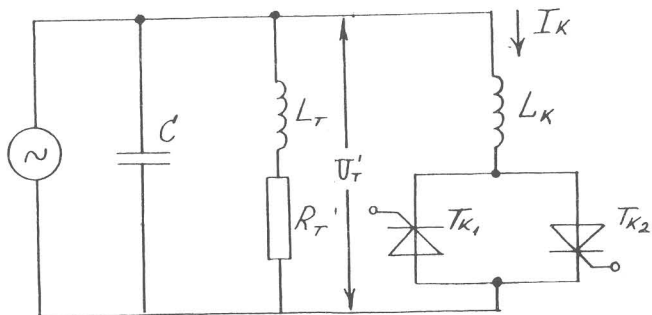
С ПОМОЩТА НА СЪСТАВЕНАТА ПРОГРАМА МОЖЕ ДА СЕ ОСЪЩЕСТВИ БЪРЗ АНАЛИЗ И ПРЕЦЕНКА КОИ ОТ ХАРМОНИИТЕ Е НАЙУДАЧНО ДА БЪДЕ ФИЛТРИРАН ПРИ ЕВЕНТУАЛНО ПРОЕКТИРАНЕ НА ПРАКТИЧЕСКИ СХЕМИ.

ПРИ ФИЛТРИРАНЕ НА ТРЕТИ ХАРМОНИК СЕ ОКАЗВА, ЧЕ ПРИ ЪГЪЛ НА РЕГУЛИРАНЕ  $0^\circ \leq \alpha \leq 50^\circ$   $K_I$  Е МНОГО БЛИЗЪК ДО ЕДИНИЦА.

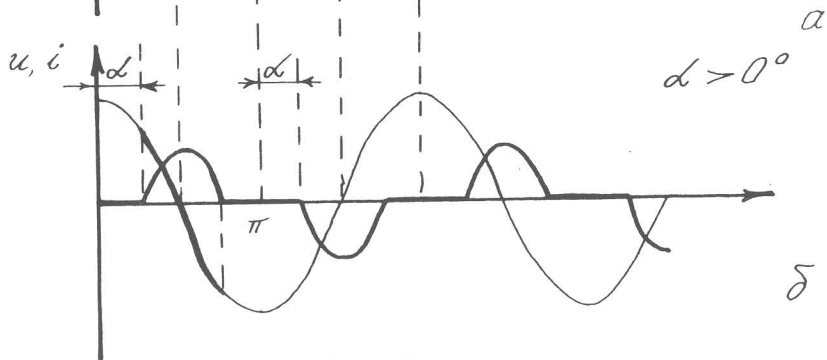
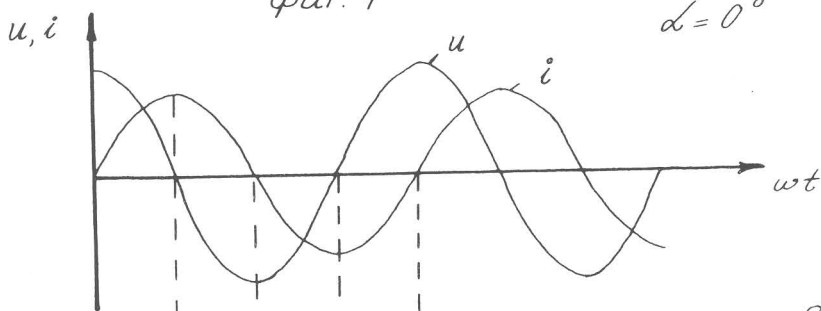
РАЗРАБОТЕНАТА ПРОГРАМА И РАЗГЛЕДАНИЯТ ПРОБЛЕМ СА ЕТАП ОТ РАЗРАБОТВАНЕТО И РЕШАВАНЕТО НА ПРОБЛЕМА, СВЪРЗАН С КОМПЕНСИРАНЕ НА РЕАКТИВНАТА ЕНЕРГИЯ. ТЯ МОЖЕ ДА СЕ ИЗПОЛЗУВА И ЗА УЧЕБНИ ЦЕЛИ.

#### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА:

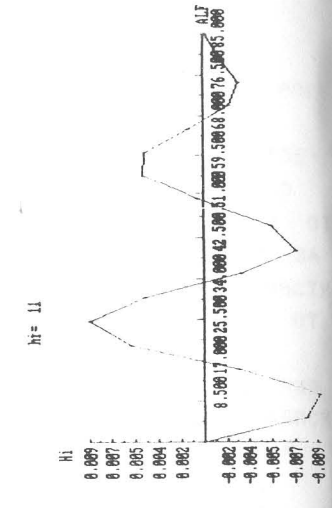
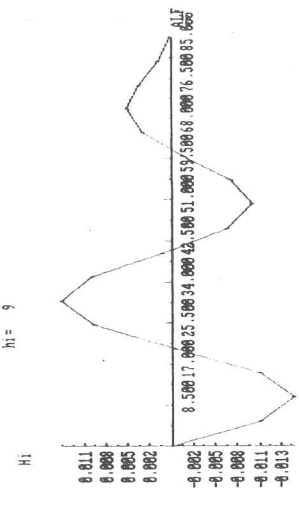
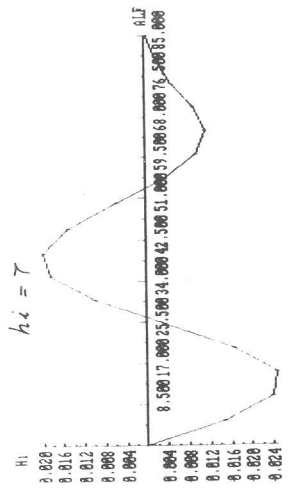
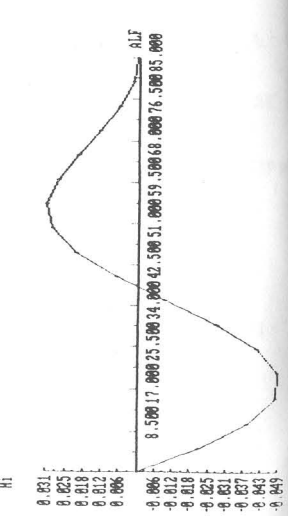
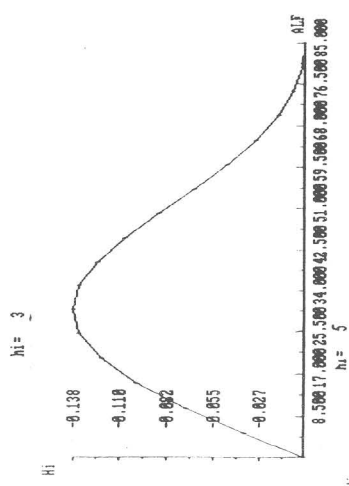
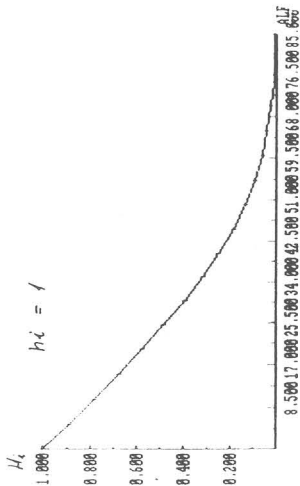
1. СИЛОВА ЕЛЕКТРОНИКА - Г. МАЛЕЕВ, ИЗД. ТЕХНИКА
2. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛНАЯ ТЕХНИКА - РУДЕНКО, ЧИЖЕНКО ИЗД. МОСКВА
3. DECOMPOSITION OF SZARNECKI'S REACTIVE CURRENT AND REACTIVE POWER - IEEE PROCEEDINGS-B VOL 138, NO3 MAY, 91

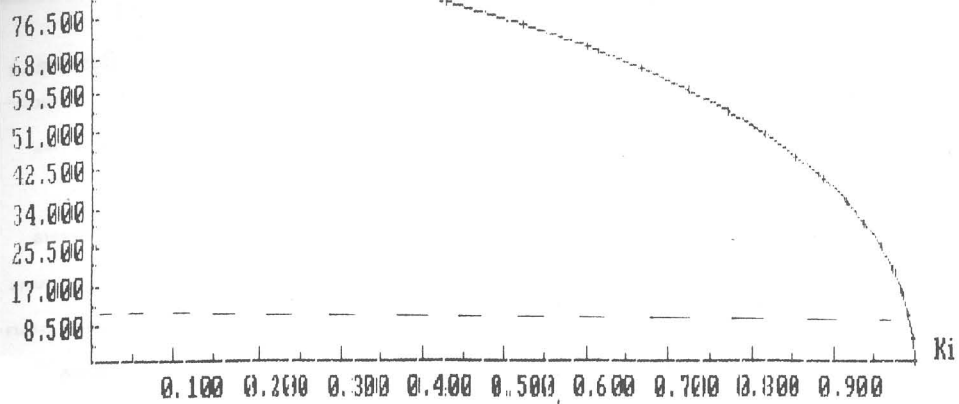


фиг. 1

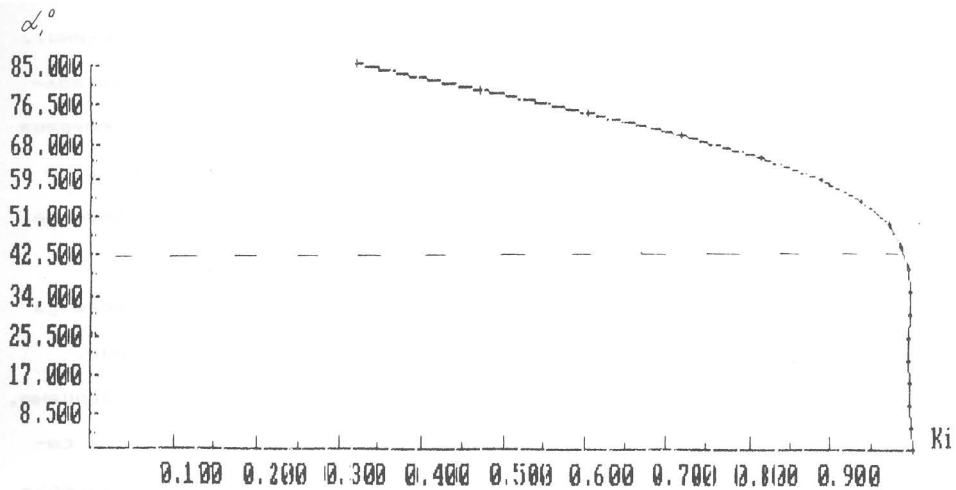


фиг. 2





$h_i = 3$



$h_i = 3, 5, 7$

