

Винахід відноситься до електротехніки і може бути використаний в системах вторинного живлення, як перетворювач частоти з квазісинусоїдною формою напруг на виході на всьому діапазоні зміни частоти.

Відомий перетворювач постійної напруги в трифазну (Тиристорные преобразователи частоты в электроприводе / Под ред. Р.С.Сарбатов. - М.: Энергия, 1980), який являє собою мостовий трифазний автономний інвертор з штучною комутацією вентилів, не забезпечує на виході напруг близькими за формою до синусоїди. У складі цих напруг присутні всі непарні гармоніки, які некратні до трьох. Вони записуються такими виразами (Теоретична електротехніка. - Львів: ЛДУ, 1995. - №53)

$$U_1 = 2\varphi_n \sum_{j=1}^n (2/j\pi) \sin j(\gamma),$$

$$U_2 = 2\varphi_n \sum_{j=1}^n (2/j\pi) \sin j(\gamma - \rho),$$

$$U_3 = 2\varphi_n \sum_{j=1}^n (2/j\pi) \sin j(\gamma - 2\rho),$$

де  $U_1, U_2, U_3$  – фазні напруги на виході інвертора;

$\varphi_n$  – потенціал на вході інвертора;

$j$  – порядковий номер гармоніки;

$j = 6k \pm 1$ , де  $k = 0, 1, 2, 3, \dots, n/6$  ( $j = 1, 5, 7, 11, 13, \dots, n$ );

$\rho = 2\pi/3, \gamma = \omega t$ .

Надійність роботи такого перетворювача визначається схемою штучної комутації вентилів інвертора і тому залежить від потужності перетворювача.

Відомий перетворювач постійної напруги в квазісинусоїдну зміну (Авт. св. №1476579, кл. H02M7, 5395), який складається з  $N$  трифазних мостових інверторних ланок на керованих ключах, вихідні кола яких з'єднані з трифазними обмотками, розміщеними на магнітопроводі обертового магнітного потоку. По вхідному колу трифазні мостові інверторні ланки включені послідовно-паралельно, утворюючи таким чином  $p$  паралельних віток з  $N/p$  послідовно з'єднаних кіл трифазних мостових інверторних ланок у кожній вітці. Кінці віток з'єднані з одним вхідним виводом перетворювача безпосередньо, а з другим вхідним виводом через обмотки зрівнювального реактора, який виконаний на  $p$ -стержньовому просторово-симетричному магнітопроводі з обмоткою на кожному стержні.

Вихідна напруга в такому перетворювачі за формою наближена до синусоїди, однак містить ще вищі гармоніки, і його виготовлення вимагає спеціальних елементів силового кола, що обмежує вихідну потужність.

Відомий перетворювач частоти (Патент Японії №63 - 5994, кл. H02M7/48), який складається з керованого випрямляча, що живить два трифазні інвертори, які з'єднані паралельно, виходи яких під'єднані до вхідних обмоток окремих трифазних трансформаторів, перші з яких з'єднані по схемі "трикутник", другі - по схемі "зірка", вихідні обмотки трансформаторів з'єднані по схемі "трикутник". В перетворювачі вихідні обмотки трансформаторів з'єднані паралельно і їхні виводи є виводами перетворювача. Форма вихідної напруги не є синусоїдною, у своєму складі містить вищі гармоніки.

Відомий перетворювач постійної напруги в трифазну (Авт. св. СРСР №1610573, кл. H02M7, 539), який містить перший і другий з'єднані паралельно до вхідних виводів мостові трифазні інвертори, що мають на виході відповідно перший і другий трифазні трансформатори, блок керування, виконаний з забезпеченням взаємного зсуву фаз сигналів керування інверторами на кут  $30\text{ел.град.}$ , причому коефіцієнт трансформації другого трансформатора в  $\sqrt{3}$  раз більший коефіцієнта трансформації першого трансформатора. Первинні обмотки першого трансформатора з'єднані по схемі "трикутник", а первинні обмотки другого - по схемі "зірка". Вторинні обмотки першого і другого трансформаторів з'єднані між собою пофазно послідовно по схемі сумування. Причому одні кінці кіл, утворених з відповідних пар обмоток, з'єднані в спільну точку, а другі кінці цих кіл являються вихідними виводами перетворювача.

Вихідні напруги цього перетворювача сформовані додаванням фазних напруг трансформаторів мають форму подібну до синусоїди, однак в їхньому складі залишаються ще гармоніки, які впливають на роботу споживачів, що живляться від перетворювача.

Крім того, вихідна потужність даного перетворювача визначається сумою потужностей першого і другого інверторів, тому його використання обмежується невеликими потужностями, так як це впливає на надійність роботи перетворювача із-за роботи схем кіл комутації вентилів інвертора.

В основу винаходу поставлено задачу створення перетворювача постійної напруги і трифазну, в якому виконанням поєднань введення нових елементів схеми і нових взаємозв'язків між ними забезпечується квазісинусоїдна форма вихідної напруги на всьому діапазоні зміни частоти для будь-якої потужності, і за рахунок цього, зменшити наявність вищих гармонік у її складі, підвищити надійність роботи перетворювача.

Поставлене завдання вирішується тим, що в перетворювачі, який містить перший і другий з'єднані паралельно до вхідних виводів мостові трифазні інвертори, що мають на виході відповідно перший і другий трифазні трансформатори, перший блок керування, виконаний з забезпеченням взаємного зсуву фаз сигналів керування інверторами на кут  $30\text{ел.град.}$ , причому коефіцієнт трансформації другого трансформатора в  $\sqrt{3}$  раз більший коефіцієнта трансформації першого трансформатора, і згідно з винаходом, додатково містить третій і четвертий мостові трифазні інвертори, третій і четвертий трифазні трансформатори, перший і другий допоміжні трифазні трансформатори, другий і третій блоки керування, причому третій і четвертий інвертори по входу з'єднані паралельно з першим і другим, вихідні виводи першого-четвертого інвертора з'єднані з відповідними первинними обмотками першого-четвертого трансформатора, які з'єднані по схемі "зірка", коефіцієнт трансформації четвертого трансформатора в  $\sqrt{3}$  раз більший коефіцієнта трансформації третього трансформатора, вторинні обмотки другого, і четвертого трансформаторів з'єднані по схемі "трикутник", виводами пофазно послідовно обмотки другого

трансформатора під'єднані до вторинних обмоток першого, а вторинні обмотки четвертого трансформатора до вторинних обмоток третього трансформатора, виводи вторинних обмоток першого трансформатора з'єднані з первинними обмотками першого допоміжного трансформатора, які з'єднані по схемі "трикутник", виводи вторинних обмоток третього трансформатора з'єднані з первинними обмотками другого допоміжного трансформатора, що теж з'єднані по схемі "трикутник", вторинні обмотки другого допоміжного трансформатора мають додаткові виводи, які обмотки з витками 0,9 коефіцієнта трансформації з'єднують по схемі "трикутник", своїми вихідними виводами пофазно послідовно з'єднані з вторинними обмотками першого допоміжного трансформатора, коефіцієнт трансформації другого допоміжного трансформатора перевищує коефіцієнт трансформації першого допоміжного трансформатора в 1,42 рази, другий блок керування виконаний з забезпеченням взаємного зсуву фаз сигналів керування третім і четвертим інверторами на кут 30ел.град., третій блок керування виконаний з забезпеченням взаємного зсуву фаз сигналів керування першим і другим блоком керування на кут 15ел.град., першим виходом з'єднаний з входом першого блоку, другим - з входом другого блоку керування.

Вихідними виводами перетворювача є виводи вторинних обмоток першого допоміжного трансформатора.

Форма вихідної напруги в цьому перетворювачі є квазісинусоїдна. У її складі відсутні всі гармоніки, які кратні до трьох  $6(2k + 1) \pm 1$ ,  $12(2k + 1) \pm 1$ , де  $k = 0, 1, 2, 3, \dots, n$ . Тобто, на відміну від перетворювача, що містить два трифазні мостові інвертори, у складі напруг на виході відсутні такі вищі гармоніки, як 5 і 7, 11 і 13, 17 і 19, 29 і 31 і т.д.

В зв'язку з тим, що в даному перетворювачі вихідна потужність визначається сумою потужностей інверторів, спрощується схема комутуючих кіл вентилів окремого інвертора, тим самим підвищується надійність роботи перетворювача при великих потужностях.

На фіг.1 представлено перетворювач постійної напруги в трифазну; на фіг.2 - векторні діаграми напруг на первинній обмотці першого допоміжного трансформатора для першої, п'ятої і сьомої гармонік; на фіг.3 - векторні діаграми напруг на виході перетворювача для першої, одинадцятої і тринадцятої гармонік; на фіг.4 - форма напруги на виході перетворювача.

У позначеннях напруг (фіг.2, 3) перший індекс вказує на елемент (трансформатор), другий і третій, відповідно, малі букви на приналежність до первинних обмоток, великі букви на приналежність до вторинних обмоток.

Перетворювач містить перший 1 і другий 2 трифазні мостові інвертори, які з'єднані паралельно до вхідних виводів, на виході мають перший 3 і другий 4 трифазні трансформатори, первинні обмотки яких з'єднані по схемі "зірка". Вторинні обмотки другого трансформатора 4 з'єднані по схемі "трикутник", своїми виводами пофазно послідовно під'єднані до вторинних обмоток першого трансформатора 3, які в свою чергу з'єднані з первинними обмотками першого допоміжного трансформатора 5, що з'єднані по схемі "трикутник". Трансформатор 4 виконаний з коефіцієнтом трансформації в  $\sqrt{3}$  раз більшим коефіцієнта трансформації трансформатора 3. Перший блок керування 6 виконаний з забезпеченням зсуву фаз сигналів керування інверторами 1 і 2 на кут 30ел.град. Третій 7 і четвертий 8 мостові трифазні інвертори по входу з'єднані паралельно з 1 і 2, на виході мають відповідно третій 9 і четвертий 10 трифазні трансформатори, первинні обмотки яких з'єднані по схемі "зірка". Вторинні обмотки трансформатора 10 з'єднані по схемі "трикутник", виводами пофазно послідовно під'єднані до вторинних обмоток трансформатора 9, які вихідними виводами з'єднані з відповідними первинними обмотками другого допоміжного трансформатора 11, що з'єднані по схемі "трикутник". Трансформатор 10 виконаний з коефіцієнтом трансформації в  $\sqrt{3}$  раз більшим коефіцієнта трансформації трансформатора 9. Другий блок керування 12 виконаний з забезпеченням зсуву фаз сигналів керування інверторами 7 і 8 на кут 30ел.град. Трансформатор 11 виконаний з коефіцієнтом трансформації, що перевищує коефіцієнт трансформації трансформатора 5 в 1,42 рази, а його вторинні обмотки мають додаткові виводи, які частину обмотки з витками 0,9 коефіцієнта трансформації з'єднують по схемі "трикутник", вихідними виводами пофазно послідовно під'єднані до вторинних обмоток трансформатора 5. Третій блок керування 13 виконаний з забезпеченням взаємного зсуву фаз сигналів керування першим 6 і другим 12 блоками-керування на кут 15ел.град., першим виходом з'єднаний з входом першого 6 блоку, другим - з входом другого 12 блоку керування. Блок 13 може бути реалізований, наприклад, на задаючому генераторі 14, елементів "НІ" 15. Блоки 6 і 12 можуть бути реалізовані на подільниках імпульсів на два 16, 17, елементах "НІ" 18, 19 і кільцевих регістрах 20, 21, 22, 23, виходи яких з'єднані з керуючими входами інверторів 1, 2, 7, 8. Перетворювач працює таким чином.

В блоці керування 13, на виході задаючого генератора 14, виробляються прямокутні імпульси одиничної амплітуди і паузи, причому тривалість імпульса дорівнює тривалості паузи. Ці імпульси подаються на вхід другого блоку керування 12 безпосередньо, а також через елемент "НІ" 15 на вхід першого блоку 6. Таким чином на вхід першого блоку керування 6 подаються імпульси, зміщені на півперіоду задаючої частоти генератора 14. Імпульси, які поступають на вхід першого і другого блоку керування 6, 12 лічильниками подільниками імпульсів на два 16, 17 діляться, тобто на виході цих лічильників утворюються прямокутні імпульси, частотою в два рази меншою від задаючої частоти. Лічильники подільники імпульсів на два 16, 17 можуть бути реалізовані, наприклад, на Д-тригерах, в якому на вхід "С" подаються вхідні імпульси, а на вхід "Д"-імпульси зворотнього зв'язку з інверсного виходу тригера. Сформовані таким чином імпульси з прямого виходу подільника 16, 17 поступають на вхід кільцевих регістрів 21, 23 безпосередньо, а з інверсного виходу, через елемент "НІ" 18, 19. Імпульси подаються на вхід регістрів 20, 22. Кільцеві регістри 20, 21, 22, 23 зібрані на лічильнику подільнику на шість і дешифраторі. Лічильник подільник імпульсів на шість реалізований на двійковому лічильнику. Кожний тактовий імпульс, який поступає на вхід регістра 20, 21, 22, 23 переводить двійковий лічильник в новий стан, при цьому на виходах дешифратора по чергові із зміщенням в 60ел.град. появляються імпульси. При поступленні 7 - го тактового імпульса, сигнал, який знімається з виходу дешифратора, встановлює двійковий лічильник в початковий стан і все повторюється з початку. Використання прямого і інверсного виходу подільника імпульсів на два 16, 17 з елементом "НІ" 18, 19 забезпечує взаємний, зсув фаз сигналів керування другим 2 і четвертого 8 інвертора в сторону випередження на кут 30ел.град. відносно першого 1 і третього 7 інвертора. Зсув фаз сигналів керування першого 6 відносно другого 12 блоку керування на 15ел.град. забезпечує третій блок керування 13.

На виході першого 11 другого 2, третього 7 і четвертого 8 інверторів формуються трифазні напруги. Вихідні напруги відповідних фаз першого 1 і другого 2, третього 7 і четвертого 8 інверторів зміщені між собою на кут 30ел.град., причому напруги 2 і четвертого 8 інверторів випереджають аналогічні напруги першого 1 і третього 7 інверторів. Вторинні обмотки другого 4 і четвертого 10 трансформаторів з'єднані по схемі "трикутник" і своїми виводами пофазно послідовно під'єднані до вторинних обмоток першого 3 і третього 9 трансформаторів. Тому лінійні напруги на виході першого 3 і третього 9 трансформаторів, а значить і фазні напруги на первинних обмотках 5 і 11 допоміжного трансформатора, наприклад для трансформатора 5, визначаються:

$$U_{3AB} = U_{5xa} = U_{3xA} + U_{4xA} - U_{3yB},$$

$$U_{3BC} = U_{5yb} = U_{3yB} + U_{4yB} - U_{3zC},$$

$$U_{3CA} = U_{5zc} = U_{3zC} + U_{4zC} - U_{3xA}.$$

Векторні діаграми формування цих напруг, наприклад, для одної фази первинної обмотки трансформатора 5, для першої, п'ятої і сьомої гармонік показані на фіг.2.

Коефіцієнт трансформації другого 4 і четвертого 10 трансформаторів в  $\sqrt{3}$  раз більший коефіцієнта трансформації першого 3 і третього 9 трансформаторів. Тому з'єднання двох інверторів по входу паралельно 1 і 2, 7 і 8, а також їхніми виходами через відповідні трансформатори 3 і 4, 8 і 10, як показано на фіг.1, забезпечення їхньої узгодженої роботи з зсувом фаз сигналів керування на кут 30 ел.град. блоками 6, 12, дозволило компенсувати п'яту і сьому (фіг.2), сімнадцяту і дев'ятнадцяту, і всі інші гармоніки, які кратні  $6(2k + 1) \pm 1$ , де  $k = 0, 1, 2, 3, \dots, n$  у складі напруг на вході першого 5 і другого 11 допоміжного трансформатора.

Сформовані таким чином напруги на первинних обмотках трансформаторів 5, 11, 8 також з'єднання частини вторинних обмоток другого допоміжного, трансформатора 11 з витками 0,9 коефіцієнта трансформації і через додаткові виводи по схемі "трикутник", і пофазно послідовно по схемі сумування з'єднання виходів вторинних обмоток трансформатора 11 з вторинними обмотками першого допоміжного трансформатора 5 (фіг.1), де коефіцієнт трансформації трансформатора 11 в 1,42 рази більший коефіцієнта трансформації трансформатора 5, утворюють вихідні напруги перетворювача, які описуються виразами:

$$U_{5AB} = U_{5xA} + U_{11xA} + U_{11A'A} - U_{5yB} - U_{11B'B},$$

$$U_{5BC} = U_{5yB} + U_{11yB} + U_{11B'B} - U_{5zC} - U_{11C'C},$$

$$U_{5CA} = U_{5zC} + U_{11zC} + U_{11C'C} - U_{5xA} - U_{11A'A}.$$

Векторні діаграми, наприклад одної із вихідних напруг  $U_{5AB}$ , для першої, одинадцятої і тринадцятої гармонік, приведені на фіг.3. Розрахункова залежність цієї напруги в часі, одержана математичним моделюванням перетворювача на комп'ютері, приведена на фіг.4 при таких значеннях параметрів схеми: потенціал на вході інверторів  $\varphi_n = 12B$ ; значення коефіцієнтів трансформації трансформаторів 3, 9, 5 дорівнюють одиниці.

Таким чином, на виході перетворювача (фіг. сформовані напруги  $U_{5AB}$ ,  $U_{5BC}$ ,  $U_{5CA}$ , у складі яких відсутні всі гармоніки, які кратні трьом, і  $6(2k + 1) \pm 1$ ,  $12(2k + 1) \pm 1$ , де  $k = 0, 1, 2, 3, 4, \dots, n$ . Найближчими присутніми гармоніками залишаються двадцять третя і двадцять п'ята, сорок сьома і сорок дев'ята. Цей перетворювач, як видно (фіг.4), на всьому діапазоні зміни частоти, забезпечує на виході квазісинусоїдну форму напруг, а тому може бути використаний в системах електроприводу для регулювання швидкості обертання двигуна змінного струму.

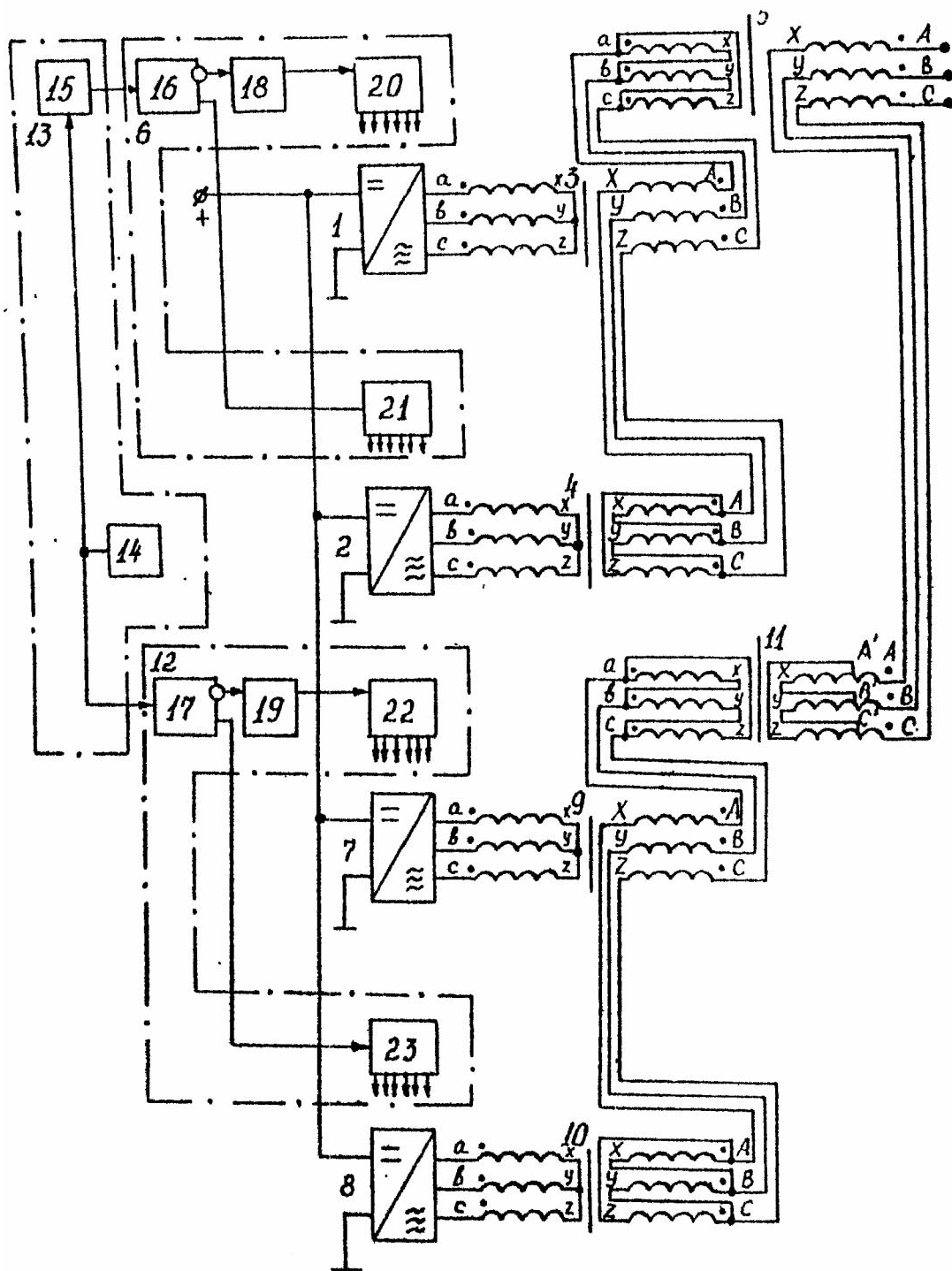


Fig. 1

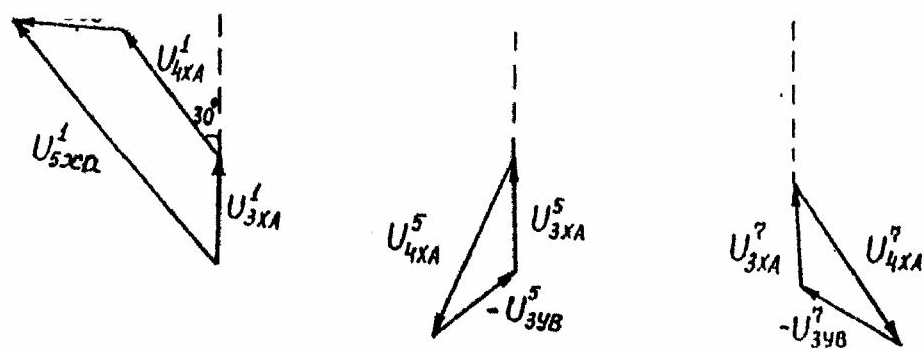
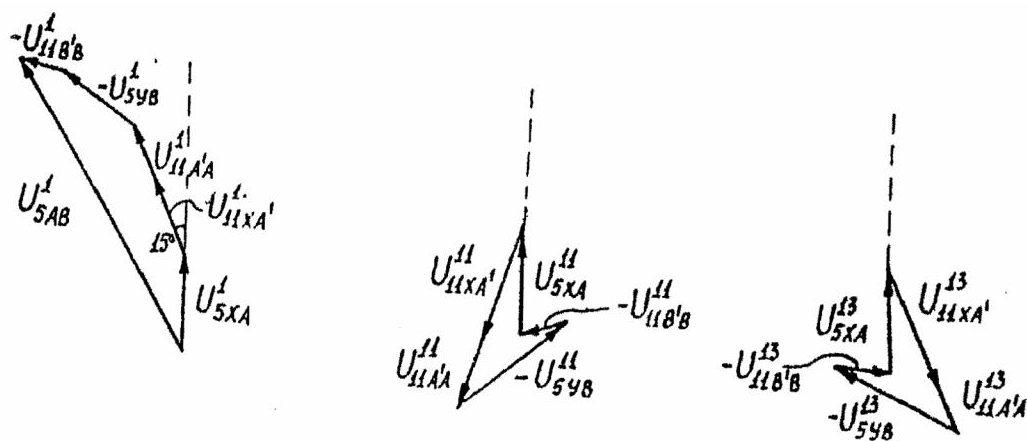
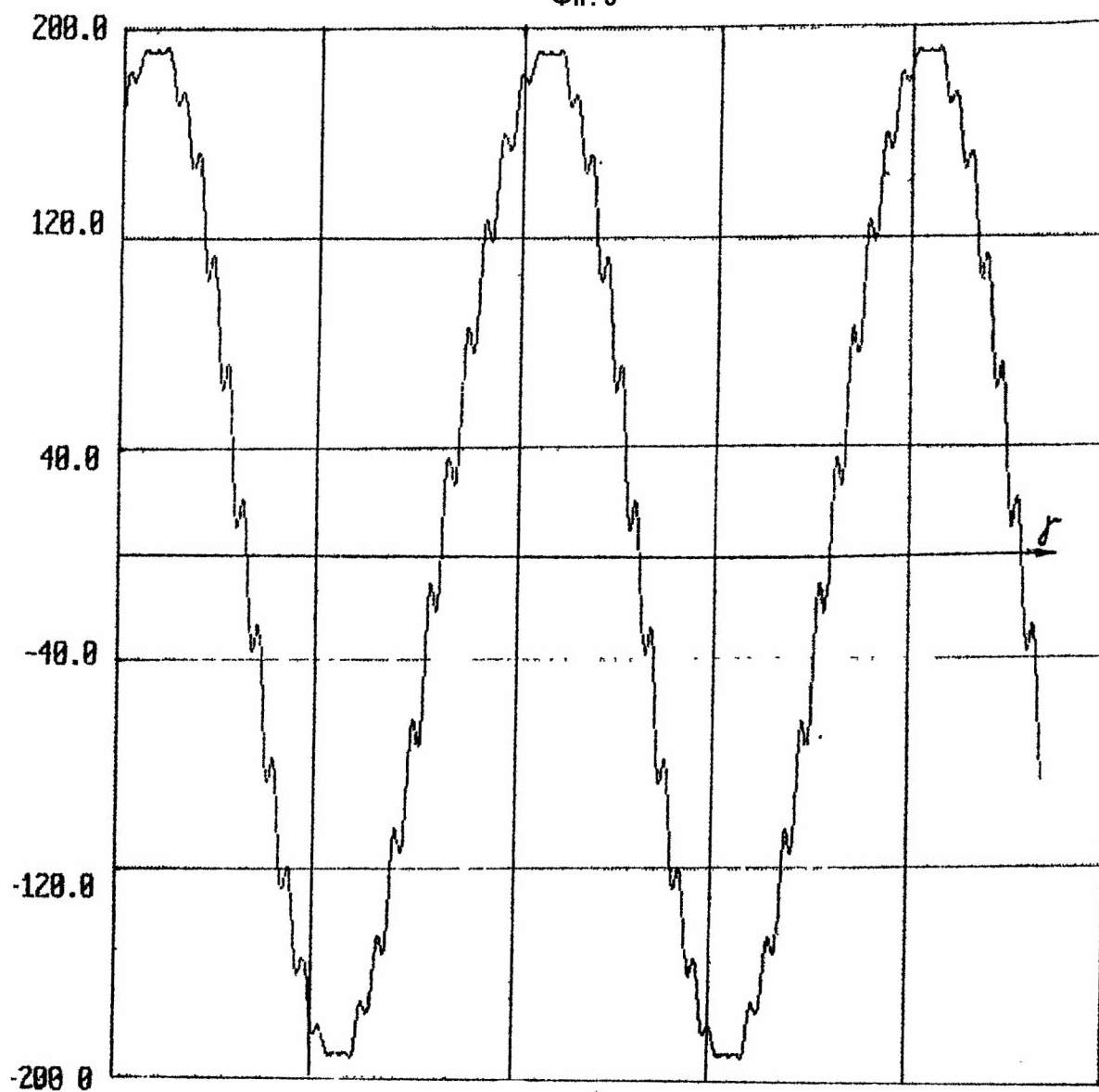


Fig. 2



Фиг. 3



Фиг. 4