



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **20985** (13) **U**  
(51) МПК (2006)  
H02M 1/02МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ**ОПИС  
ДО ПАТЕНТУ  
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**видається під  
відповідальність  
власника  
патенту**(54) МОДУЛЯТОР ВИПРЯМЛЕНОЇ НАПРУГИ**

1

2

(21) u200609926

(22) 18.09.2006

(24) 15.02.2007

(46) 15.02.2007, Бюл. № 2, 2007 р.

(72) Макаренко Микола Петрович, Михайленко  
Владислав Володимирович(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
УКРАЇНИ "КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИ-  
ТУТ"

(57) Модулятор випрямленої напруги, що містить послідовно з'єднані мостовий випрямляч, вхідні виводи якого утворюють вхідні виводи напівпровідникового перетворювача електроенергії, інвертор напруги, який виконаний за мостовою схемою, що складена з двох стійок транзисторних ключів, діагональ постійного струму якої підключена до вихідних виводів мостового випрямляча, а діагональ змінного струму утворює вихідні виводи напівпровідникового перетворювача електроенергії, зворотний мостовий випрямляч, підключений діагонально змінного струму до вихідних виводів напівпровідникового перетворювача електроенергії, блок допоміжних транзисторних ключів, який складається з чотирьох допоміжних транзисторних ключів, перший з яких включений між катодною групою діодів зворотного мостового випрямляча та першим вхідним виводом напівпровідникового перетворювача електроенергії, другий включений між анодною групою діодів зворотного мостового випрямляча та другим вхідним виводом напівпровідникового перетворювача електроенергії, третій включений між катодною групою діодів зворотного

мостового випрямляча та другим вхідним виводом напівпровідникового перетворювача електроенергії, а четвертий включений між анодною групою діодів зворотного мостового випрямляча та першим вхідним виводом напівпровідникового перетворювача електроенергії, накопичувальний конденсатор, встановлений між вхідними виводами напівпровідникового перетворювача електроенергії, а також систему керування, яка містить з'єднані між собою компаратор, входами підключений до вхідних виводів напівпровідникового перетворювача електроенергії, інвертор, синхронізатор, вхід якого підключений до виходу компаратора, задавальний генератор, тактовим входом підключений до виходу синхронізатора, фазорозділювач, фазозсувний блок, подільник частоти, входом підключений до виходу фазорозділювача, перший блок підсилення та розв'язки, входами підключений до виходів компаратора та інвертора, а виходами підключений до ланцюгів керування допоміжних транзисторних ключів, другий блок підсилення та розв'язки, входами підключений до виходу подільника частоти, виходами з'єднаний з колами керування транзисторних ключів мостового інвертора напруги, який **відрізняється** тим, що додатково введено третій блок підсилення та розв'язки, перший вхід якого підключений до виходу фазозсувного блока, другий вхід підключений до виходу подільника частоти, третій вхід з'єднаний з виходом фазорозділювача, а виходами з'єднаний з колами керування другої стійки транзисторних ключів мостового інвертора напруги.

Корисну модель відносимо до перетворювальної техніки і може бути використано для формування систем електроживлення з заданими параметрами якості і виду вихідної енергії.

Існує модулятор випрямленої напруги на напівпровідникових ключах, кожний з яких виконаний за схемою мостового випрямляча, в діагональ постійного струму якого включений тиристор [Глазєнко Т.А., Хрисанов В.Й. Полупроводниковые системы импульсного асинхронного электропривода малой мощности. - Л.: Энергатоиздат, Ленинг-

рад, отд-ние, 1983. - 176с.] Недоліками такого модулятора випрямленої напруги є необхідність установки додаткових вузлів комутації для одноопераційних тиристорів і відносно низька частота перетворювання електромагнітної енергії за умов використання двоопераційних тиристорів. Крім того, на елементах такого модулятора випрямленої напруги і виникають значні перенапруги за умов штатних і аварійних відключень від джерела вхідної напруги в силовому колі, що знижує надійність його функціонування.

(13) **U**(11) **20985**(19) **UA**

Існує модулятор випрямленої напруги на ключах з двосторонньою провідністю, кожний з яких виконаний за схемою мостового випрямляча, в діагональ постійного струму якого включений транзистор [Кобзев А.В. Многозонная импульсная модуляция. Новосибирск: Наука, Сибирское, отделение, 1979. - 304с.]. Недоліком такого модулятора випрямленої напруги є низька надійність функціонування через виникнення значних перенапруг на його ключах і в навантажувальному колі на інтервалах розімкнення силових транзисторів по системі керування.

З існуючих модуляторів випрямленої напруги найбільш близьким технічним рішенням є модулятор випрямленої напруги (прототип), описаний в деклараційному патенті України на винахід №31013А, МПК6 Н02М1/2, 2000.

Модулятор випрямленої напруги містить послідовно з'єднані мостовий випрямляч, вхідні виводи якого утворюють вхідні виводи напівпровідникового перетворювача електроенергії, інвертор напруги, який виконаний за мостовою схемою, що складена з двох стійок транзисторних ключів, діагональ постійного струму якої підключена до вихідних виводів мостового випрямляча, а діагональ змінного струму утворює вихідні виводи напівпровідникового перетворювача електроенергії, зворотній мостовий випрямляч, підключений діагоналлю змінного струму до вихідних виводів напівпровідникового перетворювача електроенергії, блок допоміжних транзисторних ключів, який складається з чотирьох допоміжних транзисторних ключів, перший з яких включений між катодною групою діодів зворотного мостового випрямляча та першим вхідним виводом напівпровідникового перетворювача електроенергії, другий включений між анодною групою діодів зворотного мостового випрямляча та другим вхідним виводом напівпровідникового перетворювача електроенергії, третій включений між катодною групою діодів зворотного мостового випрямляча та другим вхідним виводом напівпровідникового перетворювача електроенергії, а четвертий включений між анодною групою діодів зворотного мостового випрямляча та першим вхідним виводом напівпровідникового перетворювача електроенергії, накопичувальний конденсатор, встановлений між вхідними виводами напівпровідникового перетворювача електроенергії, а також систему керування, яка містить з'єднані між собою компаратор, входами підключений до вхідних виводів напівпровідникового перетворювача електроенергії, інвертор, синхронізатор, вхід якого підключений до виходу компаратора, задавальний генератор тактовим входом підключений до виходу синхронізатора, фазорозділювач, фазозсувний блок, подільник частоти входом підключений до виходу фазорозділювача, перший блок підсилення та розв'язки, входами підключений до виходів компаратора та інвертора, а виходами підключений до ланцюгів керування допоміжних транзисторних ключів, другий блок підсилення та розв'язки, входами підключений до виходу подільника частоти, виходами з'єднаний з колами керування транзисторних ключів мостового інвертора напруги.

Недоліком описаного модулятора випрямленої напруги є низькі технічні характеристики, пов'язані з низькою швидкістю регулювання вихідної напруги.

Основна мета структурної організації прототипу пов'язана з завданням зробити такий модулятор випрямленої напруги, в якому процес регулювання його вихідної напруги пов'язаний зі зсувом імпульсів керування транзисторами однієї стійки мостового інвертора напруги на кут  $\varphi$  відносно відповідних імпульсів керування транзисторами другої стійки інвертора напруги, що дозволяє отримати вихідну напругу модулятора випрямленої напруги з нульовими паузами, тривалість яких пропорційна напрузі керування  $u_k(t)$ . При цьому швидкодія обмежується інтервалом періоду її формування.

В основу корисної моделі покладено задачу створити такий модулятор випрямленої напруги, в якому введення нових блоків і вузлів, а також виконання відповідної конфігурації з'єднань між ними, дозволило б підвищити його технічні характеристики за рахунок підвищення швидкодії регулювання вихідної напруги.

Поставлена задача вирішується тим, що в модулятор випрямленої напруги, який містить послідовно з'єднані мостовий випрямляч, вхідні виводи якого утворюють вхідні виводи напівпровідникового перетворювача електроенергії, інвертор напруги, який виконаний за мостовою схемою, що складена з двох стійок транзисторних ключів, діагональ постійного струму якої підключена до вихідних виводів мостового випрямляча, а діагональ змінного струму утворює вихідні виводи напівпровідникового перетворювача електроенергії, зворотній мостовий випрямляч, підключений діагоналлю змінного струму до вихідних виводів напівпровідникового перетворювача електроенергії, блок допоміжних транзисторних ключів, який складається з чотирьох допоміжних транзисторних ключів, перший з яких включений між катодною групою діодів зворотного мостового випрямляча та першим вхідним виводом напівпровідникового перетворювача електроенергії, другий включений між анодною групою діодів зворотного мостового випрямляча та другим вхідним виводом напівпровідникового перетворювача електроенергії, третій включений між катодною групою діодів зворотного мостового випрямляча та другим вхідним виводом напівпровідникового перетворювача електроенергії, а четвертий включений між анодною групою діодів зворотного мостового випрямляча та першим вхідним виводом напівпровідникового перетворювача електроенергії, накопичувальний конденсатор, встановлений між вхідними виводами напівпровідникового перетворювача електроенергії, а також систему керування, яка містить з'єднані між собою компаратор, входами підключений до вхідних виводів напівпровідникового перетворювача електроенергії, інвертор, синхронізатор, вхід якого підключений до виходу компаратора, задавальний генератор тактовим входом підключений до виходу синхронізатора, фазорозділювач, фазозсувний блок, подільник частоти входом підключений до виходу фа-

зорозділювача, перший блок підсилення та розв'язки, входами підключений до виходів компаратора та інвертора, а виходами підключеним до ланцюгів керування допоміжних транзисторних ключів, другий блок підсилення та розв'язки, входами підключений до виходу подільника частоти, виходами з'єднаний з колами керування транзисторних ключів мостового інвертора напруги, введено третій блок підсилення та розв'язки, першим входом підключений до виходу подільника частоти, другим входом підключений до виходу подільника частоти, третім входом з'єднаний з виходом фазорозділювача, а виходами з'єднаний з колами керування другої стійки транзисторних ключів мостового інвертора напруги.

Введення в модулятор випрямленої напруги, який містить послідовно з'єднані мостовий випрямляч, вхідні виводи якого утворюють вхідні виводи напівпровідникового перетворювача електроенергії, інвертор напруги, який виконаний за мостовою схемою, що складена з двох стійок транзисторних ключів, діагональ постійного струму якої підключена до вихідних виводів мостового випрямляча, а діагональ змінного струму утворює вихідні виводи напівпровідникового перетворювача електроенергії, зворотній мостовий випрямляч, підключений діагоналлю змінного струму до вихідних виводів напівпровідникового перетворювача електроенергії, блок допоміжних транзисторних ключів, який складається з чотирьох допоміжних транзисторних ключів, перший з яких включений між катодною групою діодів зворотного мостового випрямляча та першим вхідним виводом напівпровідникового перетворювача електроенергії, другий включений між анодною групою діодів зворотного мостового випрямляча та другим вхідним виводом напівпровідникового перетворювача електроенергії, третій включений між катодною групою діодів зворотного мостового випрямляча та другим вхідним виводом напівпровідникового перетворювача електроенергії, а четвертий включений між анодною групою діодів зворотного мостового випрямляча та першим вхідним виводом напівпровідникового перетворювача електроенергії, накопичувальний конденсатор, встановлений між вхідними виводами напівпровідникового перетворювача електроенергії, а також систему керування, яка містить з'єднані між собою компаратор, входами підключений до вхідних виводів напівпровідникового перетворювача електроенергії, інвертор, синхронізатор, вхід якого підключений до виходу компаратора, задавальний генератор тактовим входом підключений до виходу синхронізатора, фазорозділювач, фазозсувний блок, подільник частоти входом підключений до виходу фазорозділювача, перший блок підсилення та розв'язки, входами підключений до виходів компаратора та інвертора, а виходами підключеним до ланцюгів керування допоміжних транзисторних ключів, другий блок підсилення та розв'язки, входами підключений до виходу подільника частоти, виходами з'єднаний з колами керування транзисторних ключів мостового інвертора напруги, третього блоку підсилення та розв'язки, який першим входом підключений до виходу фазозсувного блоку, другим входом підключений до

виходу подільника частоти, третім входом з'єднаний з виходом фазорозділювача, а виходами з'єднаний з колами керування другої стійки транзисторних ключів мостового інвертора напруги, дозволяє підвищити частоту напруги керування другої стійки транзисторних ключів мостового інвертора напруги, що в свою чергу дало змогу підвищити швидкість регулювання вихідної напруги.

Сутність корисної моделі пояснюють креслення. На Фіг.1 показана функціональна схема модулятора випрямленої напруги. На Фіг.2 - схема компаратора. На Фіг.3 - схема синхронізатора. На Фіг.4 - схема фазозсувального блоку. На Фіг.5 - приклад виконання першого блоку підсилення і розв'язки. На Фіг.6 - приклад виконання другого блоку підсилення і розв'язки. На Фіг.7 - схема третього блоку підсилення і розв'язки. На Фіг.8 - діаграми напруг, які пояснюють принцип роботи модулятора випрямленої напруги. На Фіг.9 - діаграми напруг, які пояснюють принцип дії третього блоку підсилення та розв'язки.

Модулятор випрямленої напруги містить послідовно з'єднані мостовий випрямляч 1, вхідні виводи якого утворюють вхідні виводи 2, 3 напівпровідникового перетворювача електроенергії, інвертор напруги 4, який виконаний за мостовою схемою, що складена з двох стійок 5, 6 транзисторних ключів 7, 8, 9, 10, діагональ постійного струму якої підключена до вихідних виводів мостового випрямляча 1, а діагональ змінного струму утворює вихідні виводи 11, 12 напівпровідникового перетворювача електроенергії, зворотній мостовий випрямляч 13, підключений діагоналлю змінного струму до вихідних виводів 11, 12 напівпровідникового перетворювача електроенергії, блок допоміжних транзисторних ключів 14, який складається з чотирьох допоміжних транзисторних ключів 15, 16, 17, 18, перший з яких 15 включений між катодною групою діодів зворотного мостового випрямляча 13 та першим вхідним виводом 2 напівпровідникового перетворювача електроенергії, другий 16 включений між анодною групою діодів зворотного мостового випрямляча 13 та другим вхідним виводом 3 напівпровідникового перетворювача електроенергії, третій 17 включений між катодною групою діодів зворотного мостового випрямляча 13 та другим вхідним виводом 3 напівпровідникового перетворювача електроенергії, а четвертий 18 включений між анодною групою діодів зворотного мостового випрямляча 13 та першим вхідним виводом 2 напівпровідникового перетворювача електроенергії, накопичувальний конденсатор 19, встановлений між вхідними виводами 2, 3 напівпровідникового перетворювача електроенергії, а також систему керування 20, яка містить з'єднані між собою компаратор 21, входами підключений до вхідних виводів 2, 3 напівпровідникового перетворювача електроенергії, інвертор 22, синхронізатор 23, вхід якого підключений до виходу компаратора 21, задавальний генератор 24 тактовим входом 25 підключений до виходу синхронізатора 23, фазорозділювач 26, фазозсувний блок 27, подільник частоти 28 входом підключений до виходу фазорозділювача 26, перший блок підсилення та розв'язки 29, входами підключений до

чений до виходів компаратора 21 та інвертора 22, а виходами підключеним до ланцюгів керування допоміжних транзисторних ключів 15, 16, 17, 18, другий блок підсилення та розв'язки 30, входами підключений до виходу подільника частоти 28, виходами з'єднаний з колами керування транзисторних ключів 7, 8, 9, 10 мостового інвертора напруги 4. Крім вище названих блоків до складу напівпровідникового перетворювача електроенергії входить третій блок підсилення та розв'язки 31, першим входом підключений до виходу фазозсувального блоку 27, другим входом підключений до виходу подільника частоти 28, третім входом з'єднаний з виходом фазорозділювача 26, а виходами з'єднаний з колами керування другої стійки 6 транзисторних ключів 9, 10 мостового інвертора напруги 4.

Як транзисторні ключі 7, 8, 9, 10 у мостовому інверторі напруги 4 можуть бути використані біполярні, польові транзистори чи гібридні (IGBT), зашунтовані зворотними діодами. В якості кожного з допоміжних транзисторних ключів 15, 16, 17, 18 блоку допоміжних транзисторних ключів 14 може виступати ключ з двосторонньою провідністю. Кожен з них виконаний на транзисторі, зустрічно-паралельно якому включений діод.

Компаратор 21 (Фіг.2) подається операційним підсилювачем, який працює в режимі "нуль-органа", з трансформаторною розв'язкою 34 відносно живлячої мережі. Крім того до його складу входить конденсатор 35 і інтегральна мікросхема 36. Інвертор 22 представлений логічним елементом "НІ". Синхронізатор 23 (Фіг.3) виконаний на основі формуючих елементів з інтегруючим ланцюгом. До складу синхронізатора 23 входять логічні елементи "НІ" 35, 36, "І-НІ" 37, резистор 38 та конденсатор 39. Задавальний генератор 24 виконаний по одній з відомих схем мультивібраторів тактовим входом 25 підключений до виходу синхронізатора 23. На виході задавального генератора 24 встановлено тригер, який виконує роль фазорозділювача 26. Фазозсувальний блок 27 має у своєму складі генератор пилкоподібної напруги 40, а також компаратор 41 (Фіг.4). Генератор пилкоподібної напруги 40 побудований на резисторах 42 та 43, транзисторах 44 та 45, і конденсаторі 46. Дільник частоти 28 представлений інтегральною мікросхемою.

Перший та другий блоки підсилення і розв'язки 29 та 30 побудовані по напівмостовій схемі з нульовим виводом трансформатора, причому розв'язувальний трансформатор має у своєму складі чотири вторинні обмотки (Фіг.5 та Фіг.6 відповідно).

Третій блок підсилення і розв'язки 31 включає в себе два блоки підсилення та розв'язки 47, 48 (Фіг.7). Блок підсилення та розв'язки 47 складений з D-тригера 49, логічних елементів "НІ" 50 та "І-НІ" 51, 52, 53 і 54, трансформаторів 55, 56 та повністю керованих ключів з двосторонньою провідністю 57, 58. Трансформатор 56 має у своєму складі дві вторинні обмотки 59 та 60. На вході блоку підсилення та розв'язки 48 сигнал з виходу подільника частоти 28 інвертується за допомогою логічного елементу "НІ" 61.

Алгоритм формування імпульсів керування транзисторними ключами 7, 8, 9, 10 мостового інвертора напруги 4 полягає в тому, що транзистори однієї стійки моста управляються імпульсами напруги, що надходять з частотою  $f$  вихідної напруги мостового інвертора напруги 4, а транзистори іншої стійки моста - високочастотними імпульсами, частота яких в  $n$  раз більша за частоту  $f$ . При цьому забезпечуються мінімальні динамічні втрати потужності в силових транзисторах на інтервалах їхньої комутації. Напруги керування транзисторними ключами 9 та 10 синхронізовані з напругами керування транзисторними ключами 7 та 8 першої стійки 5 мостового інвертора напруги 4, а також з напругою, яка сформована на виході фазорозділювача 26.

За рахунок послідовного з'єднання фазорозділювача 26, дільника частоти 28 та фазозсувального блоку 27 їхні вихідні напруги, а саме напруги 62 на виході фазорозділювача 26, напруга 63 на виході дільника частоти 28, з урахуванням пилкоподібної напруги 64 та напруги керування 65 та напруги 66 на виході фазозсувального блоку 27 синхронізовані з напругами керування 67 та 68 транзисторними ключами 7 та 8 і 9 та 10 першої 5 та другої 6 стійок мостового інвертора напруги 4, а також з напругами керування 69 та 70 транзисторними ключами 9 та 10 відповідно другої стійки 6 мостового інвертора 4 (Фіг.8). На діаграмах 71 та 72 показано напругу мережі живлення та напругу на виході мостового випрямляча 1. Напруга на виході інвертора напруги 4 є також вихідною напругою модулятора випрямленої напруги. При цьому вихідна напруга мостового інвертора напруги 4, за умови середнього значення напруги керування  $u_k(t)$ , подано діаграмою 73.

Напруга 63 з виходу дільника частоти 28 забезпечують дозвіл чи заборону проходження імпульсів 66 з виходу фазозсувального блоку 27. Нульовий рівень напруги 63 забороняє проходження імпульсів на транзисторний ключ 9 другої стійки 6 мостового інвертора напруги 4 з третього блоку підсилення та розв'язки 31. При цьому на вході керування транзисторного ключа 9 діє від'ємна напруга 67 з другого блоку підсилення та розв'язки 30, яка утримує його у закритому стані. Через півперіоду при нульовій напрузі 68, яка забороняє проходження імпульсів на транзисторний ключ 10 другої стійки 6 мостового інвертора напруги 4 з третього блоку підсилення та розв'язки 31, на вході керування транзисторного ключа 10 діє від'ємна напруга 68 з другого блоку підсилення та розв'язки 30, і він знаходиться у закритому стані.

У разі максимального рівня напруги керування  $u_k(t)$  (діаграма 74) на виході мостового інвертора напруги 4 формується знакозмінна імпульсна напруга 75. Мінімуму рівню напруги керування  $u_k(t)$  (діаграма 76) на виході інвертора напруги відповідає знакозмінна імпульсна напруга 77.

Загальна синхронізація формування імпульсів управління транзисторними ключами двох стійок 5, 6 мостового інвертора напруги 4 забезпечується внутрішньою побудовою третього блоку підсилення та розв'язки 31. На вхід третього блоку підсилення та розв'язки 31 надходить напруга 63 з ви-

ходу дільника частоти 28, напруга 62 з виходу фазорозділювача 26 та напруга 66 з виходу фазозсувального блоку 27, причому напруга 63 надходить на вхід блоку 47.

Розглянемо роботу блоку підсилення та розв'язки 47. За рахунок послідовного з'єднання D-тригера 49, логічних елементів "НІ" 50 та "І-НІ" 51, 52, 53 та 54, трансформаторів 55, 56 та повністю керованих ключів з двохсторонньою провідністю 57, 58 формується напруга 69 на виході блоку підсилення та розв'язки 47. На Фіг.9 показано діаграму напруги 78 на виході логічного елемента "НІ" 50, діаграми напруг 79 та 80 на виході логічних елементів "І-НІ" 51 та 52 відповідно, діаграми напруг 81 та 82 на виході D-тригера, діаграми напруг 83 та 84 на виході логічних елементів "І-НІ" 53 та 54 відповідно, діаграми напруг 85, 86 та 87 на вторинних обмотках трансформаторів 55 та 56 відповідно. Додатна напруга на вторинній обмотці 59 трансформатора 56 переводить ключ з двохсторонньою провідністю 57 в провідний (замкнений) стан, а від'ємна - в непровідний (розімкнений). Аналогічно керують ключем з двохсторонньою провідністю 58 напругою на вторинній обмотці 60 трансформатора 56.

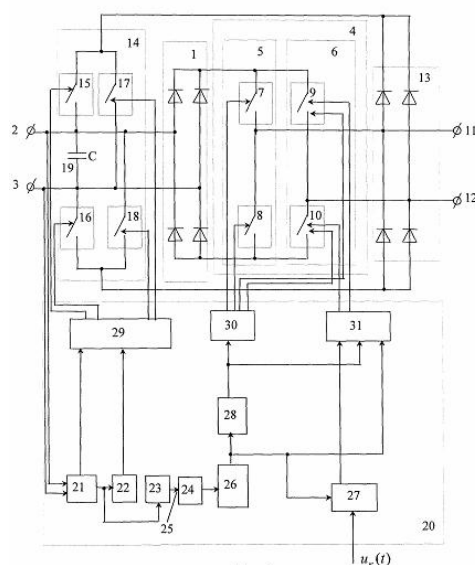
Побудова блоку 48 аналогічна побудові блоку 47 (Фіг.7). На вхід блоку 48 поступають напруга 61 з виходу фазорозділювача 26, напруга 66 з виходу фазозсувального блоку 27 та напруга 88, яка отримана в результаті інвертування логічним елементом "НІ" 61 напруги 63 з виходу подільника частоти 28. На виході блоку 38 формується напруга 70. Напруга 69 з виходу блоку підсилення та розв'язки 47 поступає на транзисторний ключ 9, а напруга 70 з виходу блоку підсилення та розв'язки 48 поступає на транзисторний ключ 10.

Додатна напруга 69 на виході блоку підсилення та розв'язки 47 має місце коли знаки напруг 63 та 82 на виході фазорозділювача 26 та D-

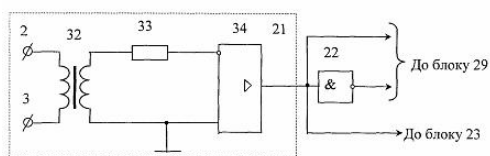
тригера 49 відповідно співпадають. На інтервалах, коли напруги 62 та 82 додатні, додатний потенціал початку вторинної обмотки трансформатора 55 передається на вихід блоку 47 через замкнений ключ з двохсторонньою провідністю 57, а на інтервалах, коли напруга 62 та 82 нульові, додатний потенціал кінця вторинної обмотки трансформатора 55 передається на вихід блоку 47 через замкнений ключ з двохсторонньою провідністю 58.

На інтервалах часу, коли знаки напруг 62 та 82 на виході фазорозділювача 26 та D-тригера 49 не співпадають, напруга 69 на виході блоку підсилення та розв'язки 47 має від'ємне значення. На інтервалах, коли напруга 62 додатна, а напруга 82 нульова, від'ємний потенціал кінця вторинної обмотки трансформатора 55 передається на блоку 47 через замкнений ключ з двохсторонньою провідністю 58, а на інтервалах, коли навпаки напруга 62 нульова, а напруга 82 додатна, від'ємний потенціал початку вторинної обмотки трансформатора 55 передається на блоку 47 через замкнений ключ з двохсторонньою провідністю 57. Далі вказаний процес повторюється.

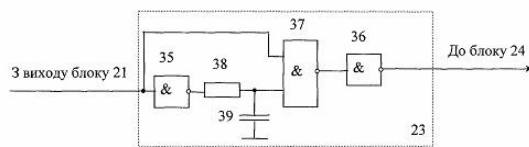
З діаграм (діаграми Фіг.8) видно, що швидкодія регулювання вихідної напруги модулятора випрямленої напруги тим більше, чим більше коефіцієнт ділення подільника частоти 28. Тому введення до складу модулятора випрямленої напруги електроенергії третього блоку підсилення та розв'язки 31 дозволяє підвищити швидкодію регулювання вихідної напруги модулятора випрямленої напруги в п'ять раз більше ніж у прототипу, при незмінній частоті керування  $f$  на виході дільника частоти 28. Це покращує технічні характеристики модулятора випрямленої напруги порівняно з прототипом. Представлений модулятор випрямленої напруги доцільно використовувати в напівпровідникових перетворювачах електроенергії, як з однозонним, так і багатозонним регулюванням вихідної напруги.



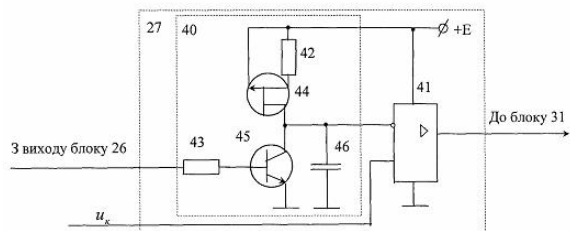
Фіг. 1



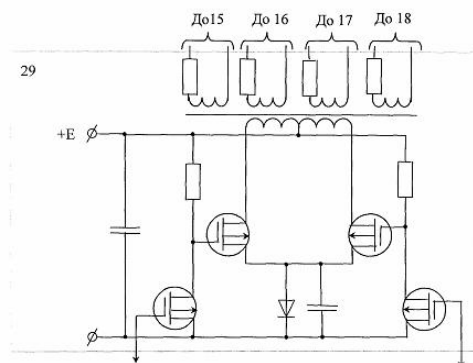
Фиг. 2



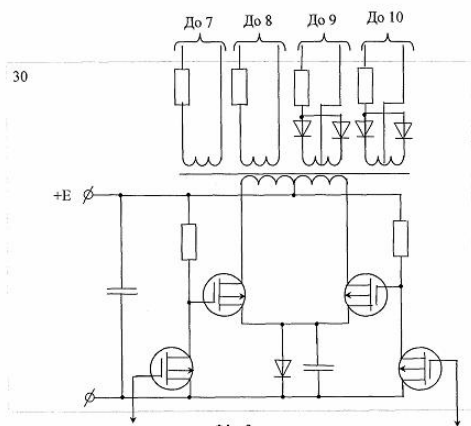
Фиг. 3



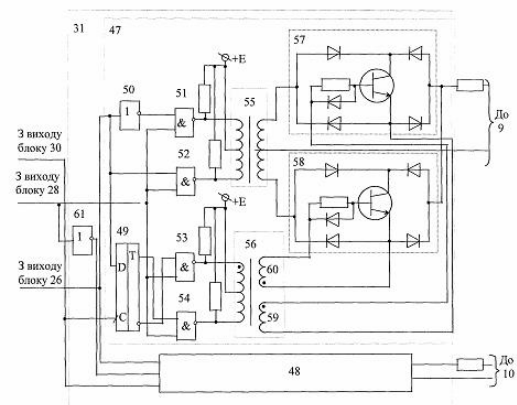
Фиг. 4



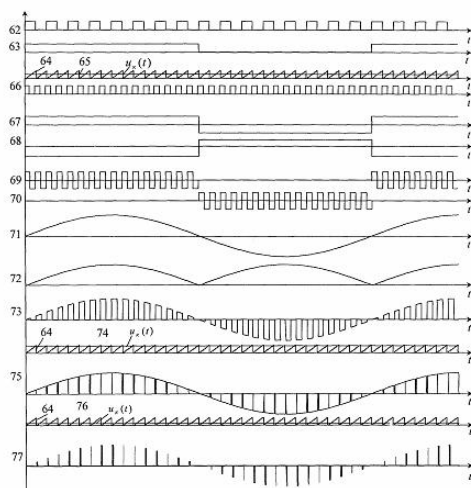
Фиг. 5



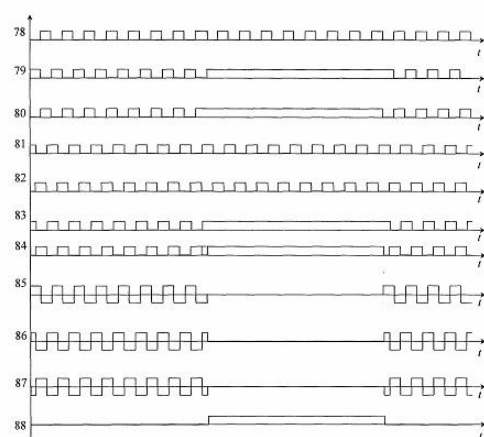
Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9