

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Запорізький національний технічний університет

Кафедра Електропривода і автоматизації
промислових установок

ПРОГРАМА, МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
з вивчення дисципліни
ЕЛЕМЕНТИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ
АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ЕЛЕКТРОПРИВОДА
і контрольні завдання
студентів спеціальності 141 – ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА,
ЕЛЕКТРОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА
освітньо-професійної програми
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ СИСТЕМИ
АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ЕЛЕКТРОПРИВОД
заочної форми навчання

2018

Програма, методичні вказівки з вивчення дисципліни ЕЛЕМЕНТИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ЕЛЕКТРОПРИВОДА і контрольні завдання для студентів спеціальності 141 – ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА освітньо-професійної програми ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ЕЛЕКТРОПРИВОД заочної форми навчання/ Укл. В.І.Бондаренко. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. - 31 с.

Укладач: В.І. Бондаренко, доцент, канд. техн. наук

Рецензент: А.В.Пирожок, доцент, канд. техн. наук

Відповідальний за випуск: В.І. Бондаренко

Затверджено
на засіданні кафедри
Електропривода і автоматизації
промислових установок,
протокол № 2 від 12 вересня 2018 р.

Рекомендовано
до видання
НМКЕТФ
протокол № 3 від 18 жовтня 2018 р.

ЗМІСТ

Передмова	4
1 Програма і короткі методичні вказівки до вивчення теоретичного курсу	5
1.1 Вступ	5
1.2 Програма курсу Елементи електромеханічних систем автоматизації та електропривода (ЕМСАЕП).....	8
1.2.1 Загальні властивості і методи досліджень елементів ЕМСАЕП.....	8
1.2.2 Силкові елементи.....	8
1.2.3 Елементи керування.....	9
1.3 Короткі методичні вказівки до вивчення теоретичного курсу	10
1.4 Літературні джерела	11
2 Завдання на контрольну роботу і короткі методичні вказівки до її виконання	13
2.1 Завдання на контрольну роботу.....	13
2.2 Перелік запитань до контрольної роботи.....	16
2.3 Задачі до контрольної роботи і рекомендації до їх розв'язання.....	20
2.3.1 Завдання на задачу.....	20
2.3.2 Вихідні дані до задачі.....	20
2.3.3 Побудова зовнішніх характеристик генератора.....	21
2.3.4 Визначення передавальних коефіцієнтів.....	23
2.3.5 Висновки.....	24
Перелік посилань	25
Додаток А.	26
Додаток Б.	27

ПЕРЕДМОВА

Методичні вказівки містять основні положення з підготовки курсу «Елементи електромеханічних систем автоматизації та електропривода елементи (ЕМСАЕП)» і призначені для студентів-заочників спеціальності 141 – «Електроенергетика, Електротехніка, Електромеханіка» освітньо-професійної програми «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод». Складаються з двох розділів і охоплюють рекомендації з усіх аспектів навчальної роботи, що передбачені навчальним планом з дисципліни.

У першому розділі наведені програма курсу і короткі методичні вказівки з самостійного вивчення теоретичного, курсу.

Завдання, зміст та вказівки з виконання контрольної роботи наведені у другому розділі.

Перелік посилань хоч і не короткий (20 найменувань), але спеціальної літератури з названої дисципліни замало не тільки у літературному фонді університетської бібліотеки, а й загалом у державі.

1 ПРОГРАМА І КОРОТКІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИВЧЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО КУРСУ

1.1 Вступ

Серед різних систем автоматичного керування (САК) електромеханічні системи автоматизації та електропривод (ЕМСАЕП) виробничих машин та технологічних комплексів складає найбільш численну групу, в переважній більшості являє собою складний електромеханічний пристрій, що здійснює перетворення електричної енергії у механічну і навпаки, з електричним керуванням перетворюваної енергії.

Цей пристрій можна уявити як такий, що складається з деякої кількості блоків (елементів), у яких відбувається перетворення вхідних величин.

Наприклад, електропривод вантажопідіймального механізму може мати сім вищеназваних елементів, дивись таблицю 1.1.

Таблиця 1.1 - Елементи ЕМСАЕП

Назва елемента	Вхідна величина	Вихідна величина
1 - статичний або електромашинний перетворювач, наприклад, керований випрямляч.	Нерегульована змінна напруга мережі.	Регульовна (постійна або змінна в залежності від типу приводного двигуна) напруга, що подається на двигун.
2 - приводний електродвигун постійного або змінного струму.	Регульована постійна або змінна напруга живлення двигуна.	Механічний обертальний рух вала двигуна з певною кутовою швидкістю і моментом.
3 - механічний редуктор згаданою величиною передаточного числа.	Обертальний рух вала двигуна.	Обертальний рух вихідного вала редуктора з меншою кутовою швидкістю у відповідності з передаточним числом.
4 - перетворювач виду механічного руху, наприклад, барабан-трос.	Обертальний рух вихідного вала редуктора.	Поступальний рух гака (вантажy).

Продовження таблиці 1.1

Назва елемента	Вхідна величина	Вихідна величина
5 - давач швидкості, наприклад, на базі тахогенератора.	Кутова швидкість механічної частини електропривода.	Електричний сигнал пропорційний кутовій швидкості привода.
6 - задаючий пристрій.	Команди у вигляді механічних, електричних, магнітних та інших сигналів необхідних для керування приводом.	Електричні сигнали керування.
7 - підсумовний підсилювач.	Електричні сигнали керування задаючого пристрою і сигнали зворотного зв'язку (з тахогенератора).	Електричні сигнали керування належного рівня.

Із розгляду таблиці випливає, що є частина елементів системи АЕП, через які проходить основний потік енергії. Такі елементи звуться силовими, до них у названій електромеханічній системі (ЕМС) належать перші чотири елемента, тобто перетворювач напруги, приводний двигун, механічний редуктор і перетворювальна ланка барабан - трос. З названих елементів два останніх належать механічній частині привода.

Елементи системи, які перетворюють, підсилюють і передають сигнали керування є елементи керування. У випадку, що розглядається їх три, це тахогенератор, задаючий пристрій та підсумовний підсилювач.

Природно, що наведеними силовими елементами та елементами керування в реальних умовах усі елементи не обмежуються, їх значно більше, вони і є предметом вивчення курсу "Елементи електромеханічних систем та електропривода".

Визначення поняттю "елемент" автоматизованого електропривода можна дати таке: пристрій, що уходить до складу ЕМС як конструктивна або блочна одиниця і володіє простою властивістю відносно свого входу - виходу.

При цьому за своїм конструктивним виконанням і за своєю фізичною природою внутрішніх процесів елемент може бути геть не простим і являти складну фізичну систему. Елементарний він тільки своєю властивістю, що визначає взаємозв'язок величин його входу і виходу.

Не вимагає особливих пояснень і те, що елемент автоматизованого електропривода, природно, є і елементом САК, до якої система ЕМС уходить як складова частина. Окрім ЕМС до САК може входити і електричні, механічні, гідравлічні та і пневматичні пристрої.

У зв'язку з цим можна виділити два вихідних поняття стосовно САК:

- ланка;
- елемент.

Ланка САК - функціональна модель математичних операцій перетворення сигналу, має один вхід і один вихід, тобто за числом координат це двополюсник. Наприклад, диференціююча ланка, інтегруюча ланка, пропорційна ланка та інші.

Елемент САК - реальний пристрій, який входить до складу САК, може мати декілька входів і декілька виходів, тобто за числом координат це багатополусник. Наприклад, перетворювач напруги, підсилювач потужності, давач положення та інші.

Як перейти від елементами до ланки САК? Знати елемент ЕМСАЕП (його властивостей) як ланки САК означає:

- уміння виділити необхідні координати елемента, наприклад, для такого елемента як генератор постійного струму можна виділити чотири координати (вихідна координата - ЕРС генератора; вхідна координата, або керуюча дія - струм збудження; збурна дія (збурення) за навантаженням - струм якірного кола і, нарешті, незалежна координата-швидкість якоря);
- математично описати передатну функцію елемента;
- уміння скласти для елемента структурну схему і таке інше.

Усю різноманітність елементів ЕМС за функціональним призначенням можна поділити на такі групи:

а) силові елементи:

- 1) джерела живлення стабілізовані та не стабілізовані;
- 2) силові електродвигуни;
- 3) силові перетворювачі електромашинні та статичні;
- 4) електричні апарати;
- 5) елементи механічної частини електропривода.

б) елементи керування:

- 1) електричні мікромашини систем автоматизованого електропривода;
- 2) електричні апарати;
- 3) давачі;
- 4) коректуючі елементи;
- 5) блочні елементи керування.

Назвемо найбільш розповсюджених представників названих груп.

Джерела живлення : генератори постійного струну, трансформатори, трансформаторно-випрямні блоки, акумулятори, стабілізатори.

Силові електродвигуни: двигуни постійного струму, асинхронні та синхронні двигуни, крокові двигуни.

Силові перетворювачі: системи Г-Д, керовані випрямлячі, імпульсні перетворювачі, перетворювачі частоти.

Електричні силові апарати: контактори, магнітні пускачі, автоматичні вимикачі.

Елементи механічної частини електропривода: зубчасті передачі, кривошипні механізми, електромагнітні муфти.

Електричні мікромашини ЕМСАЕП: виконавчі мікродвигуни, тахогенератори, сельсини, обертові трансформатори, електричні машини гіроскопічних систем.

Електричні апарати керування: кнопки керування, реле, командо-апарати.

Давачі: швидкості, положення, струму, напруги, кута, моменту.

Коректуючі елементи: пропорційні, інтегруючі, диференціюючі, інерційні.

Блочні елементи керування: аналогові, цифрові, мікропроцесори, ЕОМ.

Успішне вивчення елементів автоматизованого електропривода можливе тільки при твердому знанні студентом курсів прикладної механіки, теорії автоматичного керування, теоретичних основ електротехніки, електроніки та мікросхемотехніки, електричних машин.

1.2 Програма курсу Елементи електромеханічних систем автоматизації та електропривода (ЕМСАЕП)

1.2.1 Загальні властивості і методи досліджень елементів ЕМСАЕП

Поняття і класифікація елементів ЕМС. Елементи і ланки САК. Математичні методи аналізу.

1.2.2 Силові елементи

Електромашинні джерела напруги:

- генератор постійного струму (ГПС), його конструктивні та параметричні особливості; основні координати і характеристики керування ГПС як силового елемента; ідеальний, компенсований і некомпенсований генератори; генератор для загального випадку збудження; передатні функції ГПС; ГПС у режимі джерела струму;

- електромашинний підсилювач (ЕМП) поперечного поля, його конструктивні та параметричні особливості; основні координати і характеристики ЕМП; передавальні коефіцієнти.

Електромагнітні джерела струму. Конструктивні, схемні та параметричні особливості силового магнітного підсилювача, характеристики.

Силові перетворювачі:

- перетворювачі змінної напруги у регульовану постійну, їх координати та схемні особливості; електромашинні перетворювачі; системи Г – Д; статичні перетворювачі; типові електричні схеми силових кіл; типові блоки керування; перетворювачі для живлення реверсивних електроприводів;

- статичні перетворювачі з регулятором у колі змінного струму і нерегульованим випрямлячем, їх основні координати;

- перетворювачі постійної напруги у регульовану постійну, їх координати та схемні особливості; двомашинні і одномашинні електромеханічні перетворювачі; статичні перетворювачі;

- перетворювачі постійної напруги у регульовану змінну, їх координати та схемні особливості; двомашинні та одномашинні електромеханічні перетворювачі; статичні перетворювачі;

- перетворювачі змінної напруги у змінну; їх координати та схемні особливості тиристорні регулятори напруги; перетворювачі змінної напруги при регульованій частоті; електромашинні перетворювачі; статичні перетворювачі з безпосереднім зв'язком; статичні перетворювачі з проміжною ланкою постійного струму.

1.2.3 Елементи керування

Крокові двигуни. Особливості крокових двигунів (КД), їх координати. Принцип дії та функціональне призначення, класифікація. Особливості живлення обмоток керування КД, види комутації. Статичні синхронізуючий момент та статична стійкість КД. Режими роботи КД. Статичний, та квазістатичний режими. Усталений режим і перехідні режими. КД з активним ротором. Індукторні КД. Реактивні КД. Однофазні КД.

Узгоджувальні елементи. Цифроаналогові перетворювачі. Аналогоцифрові перетворювачі.

Виконавчі та вимірювально-перетворювальні пристрої:

- пристрої на базі виконавчих двигунів постійного струму та асинхронний виконавчих двигунів;
- пристрої на базі резистивних давачів;
- пристрої на базі індукційних та трансформаторних здавачів; індукційні та трансформаторні давачі великих переміщень;
- пристрої на базі оптичних давачів;
- пристрої на базі тахогенераторів; тахогенератори постійного струму та асинхронні тахогенератори; характеристики тахогенераторів;
- пристрої на базі обертових трансформаторів;
- пристрої на базі сельсинів.

Коректуючі елементи (КЕ). Пропорційні КЕ. Інтегруючі КЕ. Диференціюючі КЕ. Інерційні КЕ.

Блочні елементи керування. Уніфіковані блочні елементи керування. Елементи на базі аналогових Інтегральних мікросхем. Елементи на базі пристроїв дискретної дії. Логічні елементи. Регулятори у аналоговому та цифровому виконаннях. Мікропроцесори. Логічні програмовані контролери.

1.3 Короткі методичні вказівки до вивчення теоретичного курсу

1.3.1 При вивченні електромеханічних джерел слід виділити коло питань курсу теорії автоматичного керування (ТАК) та загального курсу електричних машин, вивчених раніш і необхідних для засвоєння матеріалу. Це принцип дії і будова машин постійного струму, магнітне поле збудження, способи збудження машин постійного струму і, особливо, магнітне поле якоря, реакція якоря по поздовжній осі, реакція якоря по поперечній осі, намагнічуюча та розмагнічуюча реакції якоря, способи компенсації реакції якоря. При вивченні характеристик і властивостей ГПС звернути увагу на магнітні явища у випадку некомпенсованого генератора, як впливає реакція якоря на ЕРС, характеристики керування, координати передавальні коефіцієнти та передатну функцію.

При вивченні ЕМП поперечного поля слід також звернути увагу на складові магнітного поля, що діють по поздовжній і по поперечній осям машини.

Ознайомитись з особливостями силового магнітного підсилювача, звернути увагу на магнітні явища у ньому: магнітне поле намагнічувальної обмотки, магнітне поле робочих обмоток, самопідмагнічування.

При вивченні силових перетворювачів у пригоді будуть знання з раніш вивчених курсів таких як електричні машини, ТАК, електроніка та мікрос-

хемотехніка і необхідних для засвоєння матеріалу в двох напрямках: електромашинні перетворювачі і статичні перетворювачі. Перший напрямок - це у основному системи Г-Д, а другий - тиристорні перетворювачі. Слід мати чітку уяву про особливості і координати випрямлячів, імпульсних перетворювачів, інверторів та перетворювачів частоти.

Вивчення елементів керування ускладнює їх надзвичайно велика різноманітність за будовою, принципом дії, функціональним призначенням і таке інше. Тут перш за все їх треба розкласти по полицям у пам'яті. Критеріями можуть бути:

- форма і вид енергії на вході і виході елемента (механічні, електричні, електромеханічні, гідравлічні й інші);
- фізичний принцип дії (механічні, магнітні, електричні, електронні та інші);
- форма подання вхідного і вихідного сигналів (аналогові, безперервної дії, цифрові, дискретні, релейні);
- функції, що виконуються (виконавчі мікродвигуни, інформаційні мікромашини систем ЕМС, електричні апарати керування, давачі, коректуючі елементи, блочні елементи керування й інші).

1.4 Літературні джерела

Бажано користуватись підручниками, що видані, або перевидані у останні роки, оскільки вони найбільш відповідають діючій робочій програмі курсу, у них наведені більш сучасні дані, що характеризують рівень розвитку автоматизованого електропривода, замінені застарілі стандарти, а оформлення виконано у відповідності з вимогами діючих, або доповнених стандартів, уведені нові позначення та термінологія і таке інше.

У кінці цих вказівок наведений перелік посилань, натомість літературний фонд університету не має усі названі джерела у достатній кількості.

Для вивчення теоретичного курсу згідно програми дисципліни можна рекомендувати такі літературні джерела:

- пункт 1.2.1 програми, література [1, 2, 20];
- електромашинні джерела напруги, література [2, 4, 7, 13, 14, 18, 19, 20];
- електромагнітні джерела струму, література [3, 5, 8, 17, 20];
- силові перетворювачі, література [1, 2, 4, 7, 11, 12, 13, 14, 17, 20];
- крокові електродвигуни, література [3, 6, 7, 20];
- узгоджувальні елементи, література [1, 2, 3, 7, 10, 20];

- виконавчі та вимірювально-перетворювальні пристрої, література [1, 2, 3, 7, 15, 16, 20];
- коректуючі елементи, література [3, 7, 20];
- блочні елементи керування, література [1, 2, 3, 5, 7, 20].

Для підготовки відповідей контрольної роботи можна рекомендувати такі джерела:

- запитання 2.2.1 - 2.2.4, література [1, 2, 20, 21];
- запитання 2.2.5, 2.2.18, 2.2.24, 2.2.45, 2.2.48, література [2, 4, 7, 13, 14, 17, 20, 21];
- запитання 2.2.6 - 2.2.13, 2.2.17, література [1, 2, 4, 9, 13, 14, 20, 21];
- запитання 2.2.14 - 2.2.15, література [12, 13, 20, 21];
- запитання 2.2.16, література [3, 5, 8, 17, 20, 21];
- запитання 2.2.19 - 2.2.23, 2.2.25, 2.2.44, 2.2.46 - 2.2.47, 2.2.49 - 2.2.50, література [1, 2, 4, 7, 11, 12, 20, 21];
- запитання 2.2.26 - 2.2.29, література [1, 2, 3, 15, 16, 20, 21];
- запитання 2.2.30, література [3, 7, 20, 21];
- запитання 2.2.31, література [1, 2, 3, 7, 10, 20, 21];
- запитання 2.2.32, література [1, 2, 3, 5, 7, 20, 21];
- запитання 2.2.33 - 2.2.42, література [3, 6, 7, 20, 21];
- запитання 2.2.43, література [1, 2, 3, 7, 20, 21];

Для розв'язання задач контрольної роботи з 2.2.51 до 2.2.75 можна рекомендувати такі літературні джерела: [4, 20, 21 - основні], [1, 2, 13, 14, 17 - додаткові].

2 ЗАВДАННЯ НА КОНТРОЛЬНУ РОБОТУ І КОРОТКІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ЇЇ ВИКОНАННЯ

2.1 Завдання на контрольну роботу

З дисципліни Елементи автоматизованого електропривода студенту-заочнику видається завдання на одну контрольну роботу, яку слід розпочати після вивчення відповідних розділів теоретичного курсу. Термін виконання роботи встановлюється графіком навчального процесу.

При виконанні контрольної роботи керуватись діючим державним стандартом України з виконання текстових документів ДСТУ - 3008-95 [21], при розрахунках застосовувати Міжнародну систему одиниць СІ. Роботу оформлювати на одному боці аркуша формату А4 (297x210)мм¹. Текст писати від руки чітким почерком чорнилом (пастою) чорного, синього або фіолетового кольорів². Виклад вести у одній часовій формі і в одному дієслівному способі.

Відповіді на запитання контрольної роботи давати достатньо повними, у відповідності з програмою курсу, наведеної у першому розділі. Відповіді обов'язково доповнювати схемами, рисунками, таблицями, розрахунками і таке інше. Рисунки виконувати у відповідності до норм ЄСКД.

Вихідні дані до контрольної роботи наведені у таблиці 2.1. Кожний варіант складається з двох запитань і однієї задачі. Варіант вибирати по горизонтальним рядкам таблиці для номера варіанта (перша графа таблиці), указанного викладачем, по одній із граф з 2 до 6 у відповідності з поточним навчальним роком. Наприклад, викладач, указав студентові варіант 04, хай це відбувається у 2017-2018 навчальному році, отже запитання, на які слід відповідати будуть 2.2.18 та 2.2.32, а задача 2.2.51.

Перелік запитань до контрольної роботи наведений у підрозділі 2.2, задач – у підрозділі 2.3, а рекомендована література до кожного з питань - у підрозділі 1.4.

¹ Як виняток контрольну роботу можна оформлювати в учнівському зошиті.

² Допускається оформлювати текст контрольної роботи в машинний спосіб, наприклад, за допомогою комп'ютерної техніки.

Таблиця 2.1 - Вихідні дані до контрольної роботи

Варіант	Поточний навчальний рік				
	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021	2021-2022
01	2.2.3	2.2.4	2.2.5	2.2.1	2.2.2
	2.2.47	2.2.46	2.2.50	2.2.49	2.2.48
	2.2.61	2.2.66	2.2.71	2.2.51	2.2.56
02	2.2.8	2.2.9	2.2.10	2.2.6	2.2.7
	2.2.42	2.2.41	2.2.45	2.2.44	2.2.43
	2.2.66	2.2.71	2.2.51	2.2.56	2.2.61
03	2.2.13	2.2.14	2.2.15	2.2.11	2.2.12
	2.2.37	2.2.35	2.2.40	2.2.39	2.2.38
	2.2.71	2.2.51	2.2.56	2.2.61	2.2.66
04	2.2.18	2.2.19	2.2.20	2.2.16	2.2.17
	2.2.32	2.2.31	2.2.35	2.2.34	2.2.33
	2.2.51	2.2.56	2.2.61	2.2.66	2.2.71
05	2.2.23	2.2.24	2.2.25	2.2.21	2.2.22
	2.2.27	2.2.26	2.2.30	2.2.29	2.2.28
	2.2.56	2.2.61	2.2.66	2.2.71	2.2.51
06	2.2.4	2.2.5	2.2.6	2.2.2	2.2.3
	2.2.48	2.2.47	2.2.46	2.2.50	2.2.49
	2.2.62	2.2.67	2.2.72	2.2.52	2.2.57
07	2.2.9	2.2.10	2.2.11	2.2.7	2.2.8
	2.2.43	2.2.42	2.2.41	2.2.45	2.2.44
	2.2.67	2.2.72	2.2.52	2.2.57	2.2.62
08	2.2.14	2.2.15	2.2.16	2.2.12	2.2.13
	2.2.38	2.2.37	2.2.36	2.2.40	2.2.39
	2.2.72	2.2.52	2.2.57	2.2.62	2.2.67
09	2.2.19	2.2.20	2.2.21	2.2.17	2.2.18
	2.2.33	2.2.32	2.2.31	2.2.35	2.2.34
	2.2.52	2.2.57	2.2.62	2.2.67	2.2.72
10	2.2.24	2.2.25	2.2.1	2.2.22	2.2.23
	2.2.28	2.2.27	2.2.26	2.2.30	2.2.29
	2.2.57	2.2.62	2.2.67	2.2.72	2.2.52
11	2.2.5	2.2.6	2.2.7	2.2.3	2.2.4
	2.2.46	2.2.50	2.2.49	2.2.48	2.2.47
	2.2.63	2.2.68	2.2.73	2.2.53	2.2.58
12	2.2.10	2.2.11	2.2.12	2.2.8	2.2.9
	2.2.41	2.2.45	2.2.44	2.2.43	2.2.42
	2.2.68	2.2.73	2.2.53	2.2.58	2.2.63

Продовження таблиці 2.1

Варіант	Поточний навчальний рік				
	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021	2021-2022
13	2.2.15	2.2.16	2.2.17	2.2.13	2.2.14
	2.2.36	2.2.40	2.2.39	2.2.38	2.2.37
	2.2.73	2.2.53	2.2.58	2.2.63	2.2.68
14	2.2.20	2.2.21	2.2.22	2.2.18	2.2.19
	2.2.31	2.2.35	2.2.34	2.2.33	2.2.32
	2.2.53	2.2.58	2.2.63	2.2.68	2.2.73
15	2.2.25	2.2.1	2.2.2	2.2.23	2.2.24
	2.2.26	2.2.30	2.2.29	2.2.28	2.2.27
	2.2.58	2.2.63	2.2.68	2.2.73	2.2.53
16	2.2.6	2.2.7	2.2.8	2.2.4	2.2.5
	2.2.49	2.2.48	2.2.47	2.2.45	2.2.50
	2.2.64	2.2.69	2.2.74	2.2.54	2.2.59
17	2.2.11	2.2.12	2.2.13	2.2.9	2.2.10
	2.2.44	2.2.43	2.2.42	2.2.41	2.2.45
	2.2.69	2.2.74	2.2.51	2.2.59	2.2.64
18	2.2.16	2.2.17	2.2.18	2.2.14	2.2.15
	2.2.39	2.2.38	2.2.37	2.2.36	2.2.40
	2.2.74	2.2.54	2.2.59	2.2.64	2.2.69
19	2.2.21	2.2.22	2.2.23	2.2.19	2.2.20
	2.2.34	2.2.33	2.2.32	2.2.31	2.2.35
	2.2.54	2.2.59	2.2.64	2.2.69	2.2.74
20	2.2.1	2.2.2	2.2.3	2.2.24	2.2.25
	2.2.29	2.2.28	2.2.27	2.2.26	2.2.30
	2.2.59	2.2.64	2.2.69	2.2.74	2.2.54
21	2.2.7	2.2.8	2.2.9	2.2.5	2.2.6
	2.2.50	2.2.49	2.2.48	2.2.47	2.2.46
	2.2.65	2.2.70	2.2.75	2.2.55	2.2.60
22	2.2.12	2.2.13	2.2.14	2.2.10	2.2.11
	2.2.45	2.2.44	2.2.43	2.2.42	2.2.41
	2.2.70	2.2.75	2.2.55	2.2.60	2.2.65
23	2.2.17	2.2.18	2.2.19	2.2.15	2.2.16
	2.2.40	2.2.39	2.2.38	2.2.37	2.2.36
	2.2.75	2.2.55	2.2.60	2.2.65	2.2.70
24	2.2.22	2.2.23	2.2.24	2.2.20	2.2.21
	2.2.35	2.2.34	2.2.33	2.2.32	2.2.31
	2.2.55	3.2.60	2.2.65	2.2.70	2.2.75

Продовження таблиці 2.1

Варіант	Поточний навчальний рік				
	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021	2021-2022
25	2.2.2	2.2.3	2.2.4	2.2.25	2.2.1
	2.2.30	2.2.29	2.2.28	2.2.27	2.2.26
	2.2.60	2.2.65	2.2.70	2.2.75	2.2.55

2.2 Перелік запитань до контрольної роботи

2.2.1 Визначення понять "елемент ЕМС, "ланка САК", "елемент САК".
Дати приклади елементів різних функціональних призначень.

2.2.2 Подати спрощену електричну принципову схему АЕП конкретного механізму (наприклад вантажнопіднімального) її елементами. Перетворити ця схему у структурну електричну, показати перетворення вхідних величин кожного з названих елементів.

2.2.3 Класифікація силових елементів ЕМС за функціональним призначенням. При цьому указати їх належність до пристроїв, що відрізняються:

- видом і формою енергії, яка діє на вході і виході;
- фізичним принципом дії;
- координатами;
- формою подання вхідного і вихідного сигналів.

2.2.4 Класифікація елементів керування за функціональним призначенням. При цьому указати їх належність до пристроїв, що відрізняються:

- видом і формою енергії, яка діє на вході і виході;
- фізичним принципом дії;
- координатами;
- формою подання вхідного і вихідного сигналів.

2.2.5 Електромашинні джерела напруги. Загальна характеристика з указанням їх достоїнств та недоліків.

2.2.6 Генератор постійного струму. Визначення його як силового елемента АЕП, електрична схема, призначення, властивості і показники.

2.2.7 Електрична схема генератора постійного струму для загального випадку збудження. Основні координати ГПС.

2.2.8 Компенсовані генератори постійного струму. Зв'язок проміж вхідною і вихідною координатами компенсованого ГПС. Ідеальний генератор.

2.2.9. Характеристика керування компенсованого генератора постійного струму. Зовнішня характеристика компенсованого ГПС.

2.2.10 Некомпенсований генератор постійного струму. Вплив реакції якоря на характеристики керування.

2.2.11 Статичні і динамічні характеристики керування генератора постійного струму.

2.2.12. Генератор постійного струму у режимі джерела струму.

2.2.13 Структурна електрична схема генератора постійного струму (відносно напруги збудження і відносно МРС).

2.2.14. Особливості електромашинного підсилювача поперечного поля як двокаскадного перетворювача напруги, електрична схема, будова, принцип дії, призначення.

2.2.15 Характеристики і передаточні коефіцієнти електромашинного підсилювача поперечного поля.

2.2.16 Електромагнітні джерела струму. Магнітний підсилювач без самопідмагнічування і з самопідмагнічуванням.

2.2.17 Силкові перетворювачі електромашинні і статичні. Загальна характеристика, достоїнства і недоліки, класифікація.

2.2.18 Електромашинні перетворювачі змінної напруги у регульовану постійну.

2.2.19 Статичні перетворювачі змінної напруги у регульовану постійну. Два типи таких перетворювачів у залежності від схеми вмикання її елементів.

2.2.20 Схеми силових кіл тиристорних перетворювачів змінної напруги у регульовану постійну. Основні їх показники, порівняння за частотою пульсацій струму і величиною випрямленої напруги.

2.2.21 Статичні перетворювачі змінної напруги у регульовану постійну для реверсивних електроприводів. Два схемотехнічних рішення таких перетворювачів, характеристики, координати.

2.2.22 Статичні перетворювачі з регулятором у колі змінного струму і нерегульовним випрямлячем, характеристики, координати.

2.2.23 Статичні перетворювачі з регульовним (керованим) випрямлячем. Функціональна електрична схема, характеристики, координати. Системи імпульсно-фазного керування.

2.2.24 Електромашинні перетворювачі постійної напруги у регульовану постійну. Двомашинні і одномашинні перетворювачі, їх характеристики і координати.

2.2.25 Статичні (імпульсні) перетворювачі постійної напруги у регульовану постійну, функціональна схема. Два методи регулювання напруги на модуляторі. Характеристики і координати імпульсних перетворювачів.

2.2.26 Елементи керування. Тахогенератори.

2.2.27 Елементи керування. Сельсини.

2.2.28 Елементи керування. Обертові (поворотні) трансформатори.

2.2.29 Елементи керування. Виконавчі електричні мікро двигуни постійного та змінного струму.

2.2.30 Коректуючі елементи.

2.2.31 Аналого-цифрові та цифро-аналогові перетворювачі.

2.2.32 Мікропроцесори.

2.2.33 Крокові електродвигуни. Загальна характеристика, принцип дії і особливості роботи в ЕМС.

2.2.34 Особливості живлення обмоток керування крокових електродвигунів.

2.2.35 Статичний синхронізуючий момент і статична стійкість крокових електродвигунів.

2.2.36 Режими роботи крокових електродвигунів, загальна характеристика. Частота приємності.

2.2.37 Статичний і квазістатичний режими роботи крокових електродвигунів.

2.2.38 Усталений і перехідні режими роботи крокових електродвигунів.

2.2.39 Крокові електродвигуни з активним ротором.

2.2.40 Індукторні крокові електродвигуни.

2.2.41 Реактивні крокові електродвигуни.

2.2.42 Однофазні крокові електродвигуни.

2.2.43 Елементи керування. Давачі.

2.2.44 Статичні (імпульсні) перетворювачі постійної напруги у регульовану постійну. Принципова електрична схема. Принцип одержання постійної напруги на навантаженні.

2.2.45 Електромашинні перетворювачі постійної напруги у регульовану змінну. Двомашинні та одномашинні перетворювачі.

2.2.46 Статичні перетворювачі постійної напруги у регульовану змінну.

2.2.47 Статичний тиристорний перетворювач з регульованою змінною напругою при постійній частоті (тиристорний регулятор напруги).

2.2.48 Електромашинний перетворювач частоти.

2.2.49 Статичний перетворювач частоти з безпосереднім зв'язком.

2.2.50 Статичний перетворювач частоти з проміжною ланкою постійного струму.

2.3 Задачі до контрольної роботи і рекомендації до їх розв'язання

Задачі з 2.2.51 до 2.2.75 кожного з варіантів завдання присвячені питанням визначення характеристик та передатних коефіцієнтів елементів АЕП.

2.3.1 Завдання на задачу

У відповідності до заданих характеристик некомпенсованого ГПС незалежного збудження для трьох режимів роботи генератора (трьох струмів навантаження I_{a1} , I_{a2} та I_{a3}) графоаналітичними розрахунками **визначити** :

а) зовнішні характеристики генератора

$$E_G = f(I_a)$$

для двох довільно вибраних значень МРС;

б) зовнішні характеристики генератора

$$U_G = f(I_a)$$

для тих же значень МРС;

в) передатні коефіцієнти відносно МРС;

г) коефіцієнти підсилення (передатні коефіцієнти відносно напруги збудження);

д) передатні коефіцієнти відносно струму збудження. Провести аналіз одержаних результатів, зробити висновки.

2.3.2 Вихідні дані до задачі

Вихідні дані до задач наведені у додатку А і додатку Б. Характеристики керування заданого некомпенсованого ГПС

$$E_G = f(F)$$

де E_G - ЕРС генератора, В;

F - МРС генератора, А

для трьох значень струму навантаження задані у табличній формі й наведені у таблиці Б.1 додатка Б.

Для задач 2.2.51-2.2.65 навантаження складає

$$I_{a1} = 0,$$

$$I_{a2} = 0.3 \cdot I_{аном},$$

$$I_{a3} = 0.75 \cdot I_{аном},$$

а для задач 2.2.66-2.2.75 навантаження складає

$$I_{a1} = 0,$$

$$I_{a2} = 0.35 \cdot I_{аном},$$

$$I_{a3} = 0.8 \cdot I_{ном}.$$

Характеристики керування подані у проміжку від початку координат до коліна перегину характеристики намагнічування генератора.

У першій графі таблиці Б.1 додатка Б інформація подана у вигляді дробу, у чисельнику якого указаний номер варіанта, а знаменнику - тип досліджуваного генератора.

Необхідні паспортні дані досліджуваних генераторів наведені у додатку А, де прийняті такі умовні позначення:

$I_{аном}$ - номінальний струм навантаження;

W_a - число витків обмотки якоря;

$R_{ав}$ - внутрішній опір кола якоря;

W_z - число витків обмотки збудження;

R_z - опір обмотки збудження.

2.3.3 Побудова зовнішніх характеристик генератора

Відомо, що зовнішня характеристика генератора - це залежність ЕРС або напруги генератора від струму навантаження

$$E_G, U_G = f(I_a)$$

при незмінному збудженні ($F=Const$).

Зовнішні характеристики некомпенсованого генератора можна одержати графічним шляхом, виходячи з його характеристик керування. Для двох вибраних довільно значень МРС генератора F_1 і F_2 за характеристиками

керування для трьох значень струму навантаження I_{a1} , I_{a2} , I_{a3} (рисунок 2.1) у координатах E_G і I_{a1} наносяться точки і будуються зовнішні характеристики $E_G = f(I_a)$, криві 4 і 6.

Для зручності побудови слід вибрати значення МРС генератора таким чином:

МРС F_1 - для лінійної ділянки кривої намагнічування (ближче до початку координат),

МРС F_2 - ближче до коліна перегину кривої намагнічування.

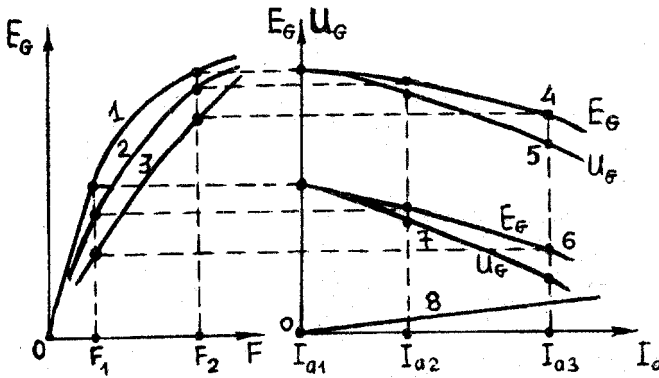


Рисунок 2.1 - Побудова зовнішніх характеристик.

Зовнішні характеристики $U_G = f(I_a)$, криві 5 і 7, рисунок 2.1, одержуються графічним відніманням внутрішнього падіння напруги у якорному колі (промінь 8) від характеристик $E_G = f(I_a)$:

$$U_G = E_G - \Delta U_G,$$

$$\Delta U_G = I_a \cdot R_{a\phi}.$$

2.3.4 Визначення передавальних коефіцієнтів

Передавальний коефіцієнт відносно МРС дорівнює тангенсу кута нахилу характеристик керування

$$K_F = \operatorname{tg} \alpha$$

де α - кут нахилу характеристики керування.

Коефіцієнт K_F легко визначити графоаналітичним методом (графічне диференціювання у 8-10 точках характеристики керування) через приріст відповідних величин

$$K_{Fi} = \frac{\Delta E_{Gi}}{\Delta F_i}, [\text{B/A}].$$

Передавальний коефіцієнт відносно напруги збудження U_3 (коефіцієнт підсилення) безрозмірний, дорівнює

$$K = \frac{\Delta E_G}{\Delta U_3}.$$

Його можна визначити через передавальний коефіцієнт відносно МРС K_F , використовуючи залежність

$$K_i = K_{Fi} \frac{W_3}{R_3}, [\text{B/A}].$$

Передавальний коефіцієнт відносно струму збудження I_3 дорівнює

$$K_{I_3} = \frac{\Delta E_G}{\Delta I_3}, [\text{B/A}].$$

Його можна визначити через один із вищеназваних коефіцієнтів K_F або K :

$$K_{I_3i} = K_i \cdot R_3, \text{ або } K_{I_3i} = K_{Fi} \cdot W_3.$$

Розраховані передавальні коефіцієнти подати у табличній формі у вигляді графічних залежностей K_F ; K ; $K_{I_3} = f(F)$. Приблизний вигляд цих залежностей наведений на рисунку 2.2.

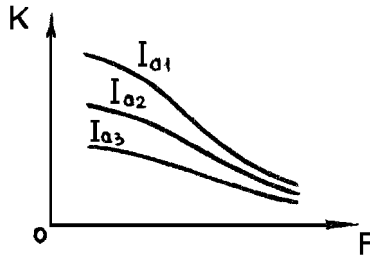


Рисунок 2.2 - Приблизний вигляд залежності $K_F = f(F)$.

2.3.5 Висновки

Провести аналіз результатів одержаних аналітичних і графічних розрахунків, зробити висновки про властивості і характеристики некомпенсованого генератора постійного струму незалежного збудження.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Терехов, В.М. Элементы автоматизированного электропривода [Текст]: учебн. [для студ. высш. учебн. завед.] / В.М. Терехов - М.: Энергоатомиздат, 1987.-224с.
2. Попович, М.Г., Элементы автоматизованого електропривода [Текст]: навч. посібник [для студ. вищ. навч. заклад.] / М.Г. Попович, В.А.Гаврилюк та ін. - К.: НМК ВО, 1990.-260с.
3. Подлеский, Н.И., Элементы систем автоматического управления и контроля [Текст]: учебн. [для студ. высш. учебн. завед.] / Н.И. Подлеский, В.Г. Рубанов - К.: Вища школа, 1991.-464с.
4. Капунцов, С.Д. Элементы автоматизированного электропривода. Силовые элементы [Текст]: учебн. [для студ. высш. учебн. завед.] / С.Д. Капунцов . - М.: МЭИ,1982.-90с.
5. Титков, В.К. Элементы систем управления автоматизированного электропривода [Текст]: учебн. пособ. [для студ. высш. учебн. завед.] / В.К.Титков, Н.К.Хамков. - Л.: ЛПИ, 1983.-75с.
6. Дискретный электропривод с шаговыми двигателями [Текст]: под редакцией М.Г. Чиликина. - М.: Энергия, 1971.-624с.
7. Справочник по автоматизированному электроприводу [Текст]: под редакцией З.А. Елисеева, А.В.Шиканского. - М.: Энергоатомиздат, 1983.-616с.
8. Будов, О.Ф. Електроперетворювальні пристрої радіоелектронних засобів [Текст]: навч. посібник [для студ. вищ. навч. заклад.] / О.Ф.Будов. -К.: НМК ВО, 1992.-132 с.
9. Волков, Н.И. Электромашинные устройства автоматики [Текст]: учебн. [для студ. высш. учебн. завед.] / Н.И.Волков, В.П. Миловзоров. - М.: Высш. шк., 1986.-334с.
10. Гитис, Э.И. Аналого-цифровые преобразователи [Текст] / Э.И. Гитис, Е.А. Пискунов. -М.: Энергоатомиздат, 1981.-360с.
11. Забродин, Б.С. Промышленная электроника [Текст]: учебн. [для студ. высш. учебн. завед.] / Б.С.Забродин. - М.: Высш.шк.,1982.-496.
12. Справочник по преобразовательной технике [Текст]: под редакцией И.М. Чиженко. К.: Техніка, 1978.-446с.
13. Вольдек, А.И. Электрические машины [Текст]: учебн. [для студ. высш. учебн. завед.] / А.И. Вольдек. - Л.: Энергия, 1978.-690с.
14. Копылов, И.П. Электрические машины [Текст]: учебн. [для студ. высш. учебн. завед.] / И.П.Копылов. - М.: Энергоатомиздат, 1986.-430с.

15. Хрущев, В.В. Электрические машины систем автоматики [Текст]: учебн. [для студ. высш. учебн. завед.] / В.В.Хрущев. - Д.: Энергоатомиздат, 1985.-364с.
16. Армейский, Ё.В. Электрические машины [Текст]: учебн. [для студ. высш. учебн. завед.] / Ё.В.Армейский, Г.В.Фалк. - М.: Высш. шк., 1985.-231с.
17. Подлипинский, В.С. Электромагнитные и электромашинные устройства автоматики [Текст]: учебн. [для студ. высш. учебн. завед.] / В.С.Подлипинский, В.Н.Петренко. - К.: Вища школа, 1987.-592с.
18. Бондаренко, В.І. Основи електричного привода [Текст]: навч. посібник [для студ. вищ. навч. заклад.] / В.І.Бондаренко. – Запоріжжя, 2003.-314 с.
19. Бондаренко, В.І. Основи електричного привода [Текст]: навч. посібник [для студ. вищ. навч. заклад.] / В.І.Бондаренко, Ю.О.Крисан. – Запоріжжя, 2013.-402 с.
20. Бондаренко В.І. Науково-технічне слово в електроенергетиці, електротехніці, електромеханіці [Текст]: довідник-словник [для студ. заклад. вищ. осв.] / В.І.Бондаренко. – Запоріжжя, 2017.-424 с.
21. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення: ДСТУ 3008-95: 2005.-[Чинний від 2005 -02-23].- К.: Держстандарт України.-40 с.

Додаток А

Таблиця А.1 – Необхідні паспортні дані генераторів.

Тип генератора	$I_{аном}, A$	W_a	$R_{ав}, Ом$	W_3	$R_3, Ом$
П42	15,7	513	1,00000	5400	720,0
П51	21,7	434	0,56000	5200	480,0
П52	28,2	341	0,39500	5000	608,0
П61	39,0	341	0,25000	6000	480,0
П62	50,0	248	0,18200	5600	480,0
П71	69,5	297	0,22400	3800	172,0
П72	91,3	210	0,13200	3800	200,0
П81	117,0	222	0,11000	5400	278,0
П82	152,0	145	0,05020	6400	108,8
П91	217,0	145	0,03550	4000	176,0
П92	304,0	105	0,02090	4000	193,6
П101	391,0	93	0,01300	3800	151,2
П102	478,0	138	0,00950	3400	131,6
П111	635,0	126	0,00655	3400	112,0
П112	826,0	100	0,00427	3000	96,0

Примітка. Для усіх генераторів: $U_{ном} = 230$ В, $n_{ном} = 1450$ об/хв., $2p = 4$, $2a = 2$ за винятком генераторів П111 та П112, для яких $2a = 4$.

Додаток Б

Таблиця Б.1 - Характеристики керування

<u>2.2.51</u> П.42	$E_{G,B}$	25	50	75	100	1151	125	135	140
	$F_{1,A}$	125	300	525	845	100	1300	1600	1760
	$F_{2,A}$	210	460	730	1070	1300	1500	1780	1910
	$F_{3,A}$	290	575	850	1180	1410	1620	1870	1990
<u>2.2.52</u> П.51	$E_{G,B}$	25	50	75	100	120	130	140	150
	$F_{1,A}$	200	375	520	1000	1500	1750	2130	3130
	$F_{2,A}$	380	740	1250	1870	2100	2300	2750	3380
	$F_{3,A}$	500	1000	1500	2000	2380	2700	3000	3500
<u>2.2.53</u> П.52	$E_{G,B}$	25	50	75	100	125	135	140	150
	$F_{1,A}$	140	320	560	870	1500	1820	2080	2610
	$F_{2,A}$	310	600	9301	1370	2100	2460	2700	3100
	$F_{3,A}$	450	810	210	1750	2450	2750	2940	3270
<u>2.2.54</u> П.61	$E_{G,B}$	25	50	75	100	125	135	145	
	$F_{1,A}$	150	315	620	1000	1780	2340	3200	
	$F_{2,A}$	250	600	1040	1530	2350	2830	3450	
	$F_{3,A}$	400	870	1420	2060	2830	3120	3620	
<u>2.2.55</u> П.62	$E_{G,B}$	25	50	75	100	115	125	135	
	$F_{1,A}$	275	490	780	1250	1730	2110	2810	
	$F_{2,A}$	305	640	950	1580	2080	2400	2940	
	$F_{3,A}$	430	880	1300	1900	2410	2820	3190	
<u>2.2.56</u> П.71	$E_{G,B}$	25	50	75	100	125	140	150	
	$F_{1,A}$	500	1250	2000	3100	4800	6700	8500	
	$F_{2,A}$	1000	1900	3200	4600	6600	8400	9700	
	$F_{3,A}$	1250	2650	4200	5800	8000	9700	11200	
<u>2.3.57</u> П.72	$E_{G,B}$	25	50	75	100	115	125	135	140
	$F_{1,A}$	680	1500	2500	2700	4950	6100	8200	10500
	$F_{2,A}$	1050	2300	3700	5650	7000	8250	10450	12100
	$F_{3,A}$	1500	3250	4950	7200	8800	10350	12500	13600
<u>2.2.58</u> П.81	$E_{G,B}$	50	75	100	115	125	140	150	160
	$F_{1,A}$	1200	2200	3500	4700	5450	7060	8650	10500
	$F_{2,A}$	2150	3500	5100	6400	7150	8900	10200	11800
	$F_{3,A}$	2900	4550	6300	7570	8450	10100	11300	12840
<u>2.2.59</u> П.82	$E_{G,B}$	25	50	75	100	115	125	135	
	$F_{1,A}$	500	1300	2500	4200	5550	6750	8500	
	$F_{2,A}$	200	2250	3700	5570	7000	8050	9600	
	$F_{3,A}$	460	2800	4400	6250	7600	8550	10230	

Продовження таблиці Б.1

<u>2.2.60</u> П.91	$E_{0,B}$	3,5	50	75	100	115	125	155	145
	$F_{1,A}$	0	920	1600	2300	3000	3650	4950	5550
	$F_{2,A}$	-	1400	2200	3100	3820	4450	5270	5950
	$F_{3,A}$	-	1770	2750	3700	4400	4950	5700	6500
<u>2.2.61</u> П.92	$E_{0,B}$	5,0	25	50	75	100	115	125	135
	$F_{1,A}$	0	420	1000	1700	2600	3500	4420	5500
	$F_{2,A}$	-	620	1350	2250	3370	4370	5260	6100
	$F_{3,A}$	-	750	1800	2750	4150	4980	5960	6680
<u>2.2.62</u> П.101	$E_{0,B}$	4,5	50	75	100	115	125	135	140
	$F_{1,A}$	0	1320	2180	3100	3750	4500	5320	5860
	$F_{2,A}$	-	1720	2690	3700	4500	5180	5850	6380
	$F_{3,A}$	-	2000	3100	4190	4870	5630	6200	6760
<u>2.2.63</u> П.102	$E_{0,B}$	6,7	75	125	150	200	225	235	250
	$F_{1,A}$	0	150	1850	2420	3180	4010	4300	5100
	$F_{2,A}$	-	1390	2400	2830	4000	5100	5500	6220
	$F_{3,A}$	-	1650	2770	3380	4680	5680	6000	6600
<u>2.2.64</u> П.111	$E_{0,B}$	3,0	25	50	75	100	110	115	125
	$F_{1,A}$	0	660	1370	2110	3330	4000	4490	6000
	$F_{2,A}$	-	850	1830	2820	4340	5200	5620	6580
	$F_{3,A}$	-	1080	2140	3520	5000	5600	6000	7080
<u>2.2.65</u> П.112	$E_{0,B}$	25	50	75	100	115	125	130	
	$F_{1,A}$	900	1890	2790	4190	5500	6690	7800	
	$F_{2,A}$	1210	2500	3780	5310	6420	7560	8350	
	$F_{3,A}$	1510	3000	4500	6050	7200	8020	8500	
<u>2.2.66</u> П.51	$E_{0,B}$	30	60	90	120	135	145	155	
	$F_{1,A}$	250	440	750	1400	2150	2890	3650	
	$F_{2,A}$	490	800	1350	2230	2980	3500	3900	
	$F_{3,A}$	570	100	1730	2700	3370	3790	4160	
<u>2.2.67</u> П.52	$E_{0,B}$	30	60	90	120	130	145	155	
	$F_{1,A}$	180	400	720	1330	1660	2260	3000	
	$F_{2,A}$	370	740	1200	1900	2260	2900	3200	
	$F_{3,A}$	500	910	1650	2380	2700	3200	3580	
<u>2.2.68</u> П.61	$E_{0,B}$	30	60	90	1051	120	130	140	
	$F_{1,A}$	195	420	830	150	1610	2000	2700	
	$F_{2,A}$	385	810	1500	1900	2400	2740	3210	
	$F_{3,A}$	580	1180	1930	2300	2790	3110	3500	

Продовження таблиці Б.1

<u>2.2.69</u> П.62	$E_{G,B}$	30	60	90	105	110	120	130	
	$F_{1,A}$	290	600	1000	1390	1550	1880	2330	
	$F_{2,A}$	405	800	1450	1870	2000	2370	2800	
	$F_{3,A}$	560	900	1790	2200	2380	2700	3100	
<u>2.2.70</u> П.71	$E_{G,B}$	30	60	90	110	120	130	145	155
	$F_{1,A}$	580	1400	2500	3650	4320	5300	7450	10000
	$F_{2,A}$	1100	2650	4350	5800	6720	7700	9700	11500
	$F_{3,A}$	1500	3300	5500	7000	7800	8900	10700	12400
<u>2.2.71</u> П.72	$E_{G,B}$	30	60	90	110	120	130	135	140
	$F_{1,A}$	720	1700	3200	4500	5500	7000	8200	10500
	$F_{2,A}$	1450	3200	5200	7000	8300	10000	11200	12700
	$F_{3,A}$	2000	4250	6700	8750	10100	11900	12950	14100
<u>2.2.72</u> П.81	$E_{G,B}$	30	60	90	110	120	130	145	155
	$F_{1,A}$	650	1650	3000	4200	5100	6100	7750	9550
	$F_{2,A}$	1400	3000	4900	6400	7300	8200	10000	11500
	$F_{3,A}$	1800	3800	6000	7700	8600	9500	11180	12450
<u>2.2.73</u> П.82	$E_{G,B}$	30	60	90	110	120	130	135	140
	$F_{1,A}$	690	1700	3500	5080	6180	7550	8500	9700
	$F_{2,A}$	1400	2800	4750	6500	7500	8850	9600	10550
	$F_{3,A}$	1700	3700	5800	7500	8500	9700	10680	11500
<u>2.2.74</u> П.91	$E_{G,B}$	3,5	60	90	110	120	130	140	150
	$F_{1,A}$	0	1250	2000	2750	3300	4000	5000	6250
	$F_{2,A}$	-	1750	2850	3750	4320	4940	5700	6650
	$F_{3,A}$	-	2200	3350	4300	4300	5400	6000	6950
<u>2.2.75</u> П.92	$E_{G,B}$	5,0	30	60	90	110	120	130	140
	$F_{1,A}$	0	500	1230	2200	3150	3940	5000	6120
	$F_{2,A}$	-	750	1700	3000	4250	5170	5960	6740
	$F_{3,A}$	-	1000	2250	3720	4980	5720	6490	7180

