

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Житомирський національний агроекологічний університет

А. П. Войцицький
М. А. Войцицький

ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ОБЛІКУ ВИТРАТ
ЕНЕРГОНОСІЇВ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

ЖИТОМИР
2016

УДК 621. 3
ББК 31. 221-5
В65

Рецензенти:

Грабар І. Г. – д. т. н., професор Житомирського національного агроекологічного університету;

Манойлов В. П. – д. т. н., професор Житомирського державного технологічного університету;

Матишнюк Г. М. – директор державного підприємства «СКТБ Інституту проблем модулювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова НАН України».

Рекомендовано Вченою радою Житомирського національного агроекологічного університету як навчальний посібник для вищих навчальних закладів (протокол № 5 від 23 грудня 2015 р.)

Войцицький А. П.

В65 Технічні засоби обліку витрат енергоносіїв: навч. посібник /А. П. Войцицький, М. А. Войцицький. – Житомир: ЖНАЕУ, 2016. – 160 с.

ISBN 978-966-8706-75-2

У навчальному посібнику викладено інформацію про нормативну базу, рекомендації до обліку і споживання енергоресурсів та технічні засоби обліку витрат енергоносіїв.

Для студентів напрямку підготовки «Енергетика та електротехнічні системи в агропромисловому комплексі».

УДК 621. 3
ББК 31. 221-5

ISBN 978-966-8706-75-2

© Войцицький А. П.,
© Войцицький М. А., 2016

АБРЕВІАТУРИ І СКОРОЧЕННЯ

АЗС – автозаправна станція
АСН – автоматизована система наливу
АЦП – аналого-цифровий перетворювач
ВНДІМ – Всесоюзний науково-дослідний інститут метрології
ВІС – велика інтегральна схема
ВПВ – вторинний перетворювач витрат
ВОК – вимірювально-обчислювальний комплекс
ВОН – вузол обліку нафти
ГКМВ – Генеральна конференція з мір і ваги
ГОСТ – міждержавний стандарт СНД
ГСЗУ –галузевий стандартний зразок України
ДК – Державний класифікатор
ДНДІ – Державний науково-дослідний інститут
ДСВ – Державна система забезпечення єдності вимірювання
ДСЗУ – Державний стандартний зразок України
ДСІ –Державна система забезпечення єдності і рівнозначності вимірювання
ДСТУ – Державний стандарт України
ДСТУП – Державний стандарт України пробний
ДТ – датчики тиску.
ЕН – Європейська організація зі стандартизації
ЕР – енергоресурси.
ЄАС – Європейська асоціація відповідності
ЄОЯ –Європейська організація з якості
ЄС – Європейський Союз
ЗВТ – технічний засіб вимірювання
ЖКГ – житлово-комунальне господарство.
ІВС – інформаційно-вимірювальна система
ISO – Міжнародна організація зі стандартизації
ISO/IEC – Міжнародні спільні стандарти
МБМВ – Міжнародне бюро мір і ваги
МДРС –Міждержавна Рада стандартизації
МКМВ – Міжнародний комітет мір і ваги

МОЗМ – Міжнародна організація законодавчої метрології
МС – Міжнародні стандарти
МСЗ – Міждержавні стандартні зразки
НД – нормативні документи
НПС – навколишнє природне середовище
ОП – операційний підсилювач
ОСТ – Обов’язків загальнодержавний стандарт
НГВУ – нафтогазовидобувне управління
ПАВ – первинний перетворювач витрат.
ПДВ – податок на додану вартість
ПЗП – приймально-здавальний пункт обліку енергоносіїв.
НПЗ – нафто- та газопереробний заводи
ПМД – правила міждержавної стандартизації.
ПК – персональний комп’ютер
ПП – промислове підприємство
ПОІ – пристрій оброблення інформації
САК – системи автоматичного контролю
СЕН – Європейський комітет стандартизації
СЗ – стандартний зразок
СЗП – стандартний зразок підприємства
СЗУ – стандартний зразок України
СІ – Міжнародна система одиниць фізичних величин
СВКН – система вимірювань кількості та показників якості нафти
СТД – система технічної діагностики
ТЛ – тепло лічильники.
ТО – теплообчислювачч
СОУ – стандарт організації
УкрНДІСС – Український науково-дослідний інститут стандартизації та сертифікації
УкрЦСМ – Український центр стандартизації метрології
УНС – Управління навколишнім середовищем
ЦВП – цифровий вимірювальний прилад
ЦОВМ – Центральний орган виконавчої влади у сфері метрології
ЦОЙМ – орган управління на проведення державних випробувань та перевірку засобів вимірювальної

ПЕРЕДМОВА

Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України, має реалізуватися як довгострокова та чітко спрямована програма дій.

У зв'язку з різким збільшенням цін на паливо, великої гостроти набуває проблема правильності обліку споживання енергоносіїв і комерційних розрахунків за їх використання.

Одним із напрямків забезпечення енергетичної безпеки України є і модернізація існуючих та впровадження нових енергозберігаючих систем регулювання й засобів обліку витрат енергоресурсів на підприємствах галузі.

Впровадження заходів із модернізації існуючих та нових сучасних енергозберігаючих засобів обліку витрат енергоресурсів з високим класом точності за реально спожитою енергією і використання переносу максимального навантаження з дорогих зон на дешеві зони в підприємствах галузі є складовою частиною системи державного регулювання у сфері енергозбереження.

Стан оснащення засобами обліку споживання енергоресурсів суттєво впливає на економічні показники підприємств галузі. Відсутність на об'єктах засобів обліку споживання палива, теплової енергії, електричної енергії і води призводить до значних розбіжностей між встановленою нормою споживання і фактичним їх споживанням. Встановлені нормативи на 30–40% вищі фактичного споживання.

Оплата за енергоресурси за нормативами включає оплату за енергоресурси, які не споживалися, що провокує їх розкрадання, сприяє росту корупції та завищує показники фактичної потреби в них, змушує споживачів сплачувати за послуги, які їм не надані. Повне впровадження засобів обліку споживання енергетичних ресурсів дало б можливість навести лад в оплаті, вивести з “тіні” значні кошти.

Ступінь свободи у виборі як вимірювальних перетворювачів, так і обчислювачів формально нібито не

обмежується. А точність обліку залежатиме і від вибраного методу вимірювання, і від структури та конфігурації системи обліку, і від застосованих у цій системі обліку конкретних технічних засобів обліку.

Дещо окремо стоїть питання спотворення результатів вимірювання витрати та кількості енергоносіїв. До речі, в наших пострадянських умовах воно не менш актуальне, ніж розглянуті вище.

Річ у тім, що у більшості технічних засобів обліку є слабкі місця, тобто існує можливість спотворити їхню роботу – внести у показання наперед запрограмовані зміни, а то й, приміром, зовсім зупинити лічильник при включеному споживанні газу.

Інженери-електрики як фахівці вищої кваліфікації повинні поряд з глибокими знаннями з комплексу фундаментальних й спеціальних дисциплін мати практичні навички з виконання комплексу робіт із проектування, монтажу, налагодження та експлуатації енергетичного обладнання.

Поряд з цим, вони мають володіти методами раціонального використання енергетичних ресурсів та енергозбереження, забезпечення надійного енергопостачання сільськогосподарських споживачів.

Перші результати із автоматичного обліку енергоресурсів були одержані на початку 90-х років. З кожним роком все інтенсивніше розробляються нові засоби обліку енергоресурсів.

Навчальна дисципліна “Технічні засоби обліку витрат енергоносіїв” (ТЗОВЕ) належить до спеціальних профілюючих дисциплін і забезпечує формування знань та вмій з обліку витрат енергоносіїв, необхідних для кваліфікованого обслуговування автоматизованих систем обліку витрат енергоносіїв.

Ця навчальна дисципліна є базовою в структурі професійно орієнтованих дисциплін для підготовки фахівців ОКР бакалавр напряму підготовки 6.100101 “Енергетика та електротехнічні системи в агропромисловому комплексі”.

Науковою основою цієї навчальної дисципліни є метрологія та теорія енергозбереження. Технічною базою ТЗОВЕ служать електронні засоби вимірювальної техніки та мікроконтролери.

Основні завдання навчальної дисциплін впливають із її ролі в системі підготовки фахівців ОКР бакалавр напряму “Енергетика та електротехнічні системи в агропромисловому комплексі”, визначеної інструктивним листом Міносвіти України “Про покращення вивчення у ВНЗ основ метрології та стандартизації”.

Мета навчального посібника – надати знань студентам з теоретичних й правових основ обліку витрат енергоносіїв та практичного використання вимірювальної техніки обліку енергоносіїв з використанням останніх досягнень науки і техніки, які мають високу надійність і безвідмовність в роботі.

ВСТУП

Україна щорічно споживає близько 200 млн тонн умовного палива і задовольняє свої потреби у природних енергоресурсах за рахунок їх власного видобутку приблизно на 45%. У ряді країн світу рівень енергетичної самозабезпеченості такий самий або навіть нижчий. Для таких країн особливо важливим є проблема енергетичної безпеки, яка базується, у першу чергу, на спроможності держави забезпечити ефективне використання паливно-енергетичних ресурсів.

На жаль, орієнтація в минулому господарських комплексів України на загальносоюзні потреби, а також вади командно-адміністративної системи керування обумовили низку проблем в розвитку економіки нашої держави.

Енергоносії – речовини різних агрегатних станів чи іншої форми матеріального середовища, що є джерелом енергії. Один із найбільш вірогідних для України шляхів подолання економічної та енергетичної кризи є комплексне вирішення питань з енергозбереження.

Відповідно до прийнятих у міжнародній практиці стандартів, за методологією Європейської економічної комісії ООН, енергоносіями вважаються: кам'яне і буре вугілля, торф, інші види первинного твердого палива, кам'яновугільні, кокс, брикети, буровугільні і торф'яні брикети, сира нафта, газ нафтопереробки, нафтопродукти, природний газ, природні енергетичні ресурси (ядерна, гідравлічна та геотермальна енергія, інші природні енергоресурси), електроенергія, теплоенергія (пара і гаряча вода).

Енергоносії прийнято поділяти на відновлювані і невідновлювані.

До першої групи відносять:

- сонячну енергію;
- енергію вітру;
- енергію води;
- енергію хвиль

— енергію біомаси – одержується з біомаси (деревина, сміття тощо);

- тепло морів;
- енергію припливу;
- тепло Землі.

До другої групи відносять:

- кам'яне і буре вугілля;
- торф;
- нафту;
- природний газ;
- ядерне паливо.

Відновлювані джерела енергії залежать (крім тепла Землі) від сонячної енергії. Сьогодні, у зв'язку з великою амплітудою їх коливань у часі, малою просторовою густиною енергії, низьким коефіцієнтом корисної дії і великою матеріалоємністю розроблених установок, вони використовуються дуже мало.

Їхня частка в енергетичному балансі різних країн становить:

- у Німеччині частка цих джерел енергії становить 2,4 %;
- в Україні – 5–6 %;
- у США частка відновлюваних джерел енергії у виробництві електроенергії становила в 1996 році 13 %, однак, згідно з прогнозом Міністерства енергетики США, у 2020 році вона знизиться до 9 %.

Обсяги споживання газу, води та теплової енергії, а також витрати на їхнє виробництво значно перевищують рівень споживання цих видів ресурсів порівняно з розвинутими країнами.

Облік енергоносіїв

Для вирішення проблеми енергоефективності необхідний облік споживаних енергоресурсів. Облік енергоносіїв необхідний не тільки в квартирах. Будь-яке підприємство – це також споживач енергії. Неважливо при цьому, необхідна йому енергія для виробництва або ж для функціонування в цілому.

У виробничих масштабах облік енергоресурсів повинен здійснюється великими автоматизованими системами обліку.

За останні роки була проведена велика робота щодо вдосконалення нормативної бази обліку енергоносіїв, однак, в основному, лише для методу змінного перепаду тиску. Розроблено комплекс нових міждержавних стандартів ГОСТ 8.586.1,2,3,4,5-2005 та ДСТУ ГОСТ 8.586.1,2,3,4,5-2007.

Для здійснення обліку енергоносіїв і реалізації наявних можливостей підвищення його точності треба мати відповідно підготовлений інженерно-технічний персонал.

Вимірювальні системи обліку постійно ускладнюються, все частіше застосовуються інтелектуальні вимірювальні перетворювачі параметрів потоку, мікропроцесорні обчислювачі та коректори, для проектування систем обліку застосовуються відповідні автоматизовані системи проектування.

Комерційний облік енергоносіїв

Метою здійснення комерційного обліку енергоносіїв є визначення їх кількості, що проходять через кожного учасника системи «постачальник–споживач» для проведення взаємних розрахунків.

Центральним питанням комерційного обліку енергоносіїв є достовірність обліку і забезпечення збігу результатів вимірювання на вузлах обліку постачальника і споживача.

Тут слід зазначити відмінність, що існує між вимірюванням витрати енергоносіїв і їх обліком. На відміну від результатів вимірювань, що завжди містять погрішність, облік здійснюється за правилами, що не містять ніякої невизначеності для різноманітних умов вимірювання. Не менше значення для організації обліку енергоносіїв має технічна база обліку, тобто наявність відповідних вимірювальних засобів.

Частина 2

Розділ 1

ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ОБЛІКУ ВИТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

- 1.1. Значення електроенергетики в господарській діяльності*
- 1.2. Методи вимірювання потужності електричного струму*
- 1.3. Технічні засоби обліку електроенергії*

1.1. Значення електроенергетики в господарській діяльності

Найпоширенішою галуззю енергетики є електроенергетика. Вона включає у себе всі типи електростанцій: теплові, атомні, сонячні, гідравлічні, вітрові, теплоелектроцентралі та господарство електромереж.

Найбільшими споживачами електроенергії є промисловість (65 %), транспорт і сільське господарство (по 10 %), будівництво, побут та інші галузі.

Провідне місце в електроенергетиці України належить тепловим електростанціям (ТЕС). Вони дають 50 % всієї виробленої електроенергії.

Перші ТЕС були побудовані наприкінці XIX ст. ТЕС розміщуються поблизу споживача, з урахуванням близькості паливних ресурсів.

Теплові електростанції потужністю понад 2 млн кВт·год називають державними районними електростанціями (ДРЕС). Вони працюють у великих промислових районах.

У великих містах працюють теплоелектроцентралі (ТЕЦ). ТЕЦ є результатом комбінування двох виробництв: гарячої води для опалення приміщень у холодну пору року та електроенергії.

Нині в Україні функціонує чотири АЕС Запорізька (6 млн кВт), Хмельницька та Південноукраїнська (по 3 млн кВт) та Рівненська (818 МВт). Будівництво Кримської та Чигиринської АЕС зупинено, а ЧАЕС не експлуатується з 15 грудня 2000 р.

За сучасних технологій і дотримання норм безпеки атомна енергетика є незамінною для промислового Придніпров'я та південних, бідних на енергетичні ресурси, районів України. На жаль, складність експлуатації і необхідність гарантування безпеки роботи з ядерним паливом роблять електроенергію, одержану на атомних електростанціях (АЕС), дуже дорогою.

Роль гідроенергетики в Україні незначна. Великі гідроелектростанції (ГЕС) розміщуються на Дніпрі: Київська, Канівська, Кременчуцька, Дніпровська, Дніпродзержинська, Каховська; на Дністрі – Дністровська. Єдина велика ГЕС в нашій країні була споруджена у Карпатах на гірських річках – це Терезько-Ріцька. ГЕС дають понад 7 % електроенергії України.

Загалом на ГЕС припадає 20% електроенергії, одержуваної на Землі. В останні десятиліття розпочато спорудження альтернативних електростанцій, які використовують невичерпні природні ресурси і практично не завдають шкоди навколишньому середовищу.

Достатньо потужні вітрові електростанції (ВЕС), збудовані на морських узбережжях: Новоазовська, Чорноморська, Донузлавська, Асканійська. Районне значення можуть мати сонячні (СЕС) електростанції та геотермальні (що використовують внутрішнє тепло Землі).

За останні роки в нашій країні поступово зростає потужність електростанцій. Україна водночас є як експортером, так і імпортером електроенергії. Україна експортує електроенергію до країн Центральної Європи (Угорщини, Польщі, Болгарії, Молдови). Донецький регіон частину електроенергії одержує з Росії.

Електроенергія передається на значні відстані за допомогою ліній електропередач великої потужності (ЛЕП-750, ЛЕП-800, ЛЕП-1500).

Електричні мережі Міністерства палива та енергетики України нараховують майже 1 млн км повітряних і кабельних ліній електропередач усіх класів напруги, більше 202 тисяч трансформаторних підстанцій загальною потужністю 200 832 МВА і є складовою Об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України.

Ця система працює у паралельному режимі з ОЕС Молдови, а з серпня 2001 року здійснено перехід на паралельну роботу і з ОЕС Російської Федерації.

З 1 липня 2002 року, після успішних випробувань української ОЕС у паралельному режимі із CETREL/UCTE, був виділений так званий “Бурштинський острів”, який включає у себе Бурштинську та Калуську ТЕС, а також Терезля-Ріуку ГЕС.

Так званий “Бурштинський острів”, який небезпідставно називають енергетичним вікном для Європи, успішно пройшов однорічну експлуатаційно-випробувальну роботу за європейськими стандартами, отримав позитивне рішення керуючого Комітету UCTE щодо постійної роботи південно-західної частини України у синхронному режимі з UCTE – Союзом з координації передачі електроенергії.

Національною енергетичною програмою України визначено цілий ряд стратегічних напрямків розвитку електричних мереж – підвищити якість експлуатації, прискорити процес їх розвитку та технічного переоснащення.

1.2. Методи вимірювання потужності електричного струму

Потужність електричного струму – фізична величина, що характеризує швидкість передачі або перетворення електричної енергії. Одиницею вимірювання потужності в СІ є ват (Вт, W).

У табл. 1.1 вказані значення потужності деяких споживачів електричного струму – від звичайної лампочки ліхтарика до електродвигуна прокатного стану.

Таблиця 1.1

Потужності деяких споживачів електричного струму

Електричний прилад	Потужність, Вт
Лампочка ліхтарика	1
Лампа люмінесцентна побутова	5 ... 30
Лампа розжарювання побутова	25 ... 150
Холодильник побутовий	15 ... 200
Електропилосос	100 ... 1800
Електрична праска	300 ... 2000
Пральна машина	350 ... 2000
Електрична плитка	1000 ... 2000
Зварювальний апарат побутовий	1000 ... 5500
Двигун трамвая	45 000 ... 50 000
Двигун електровоза	650 000
Електродвигуни прокатного стану	6 000 000 ... 9 000 000

1.2.1. Вимірювання потужності змінного струму в однофазних колах

У змінному електричному полі формула для потужності постійного струму є непридатною. На практиці найбільше значення має розрахунок потужності у колах змінних синусоїдальних напруги і струму. Для того, щоб зв'язати поняття повної, активної, реактивної потужностей і коефіцієнту потужності розглянемо трикутник потужності (рис. 3.1). Помножимо сторони трикутників опорів на величину квадрату струму і одержимо трикутник потужностей.

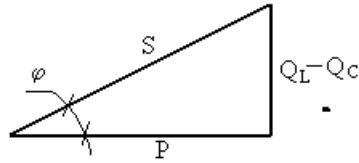


Рис. 1.1. Трикутник потужностей

Сторони трикутника знаходимо за формулами

$$\begin{aligned} P &= R \cdot I^2; \\ Q_L - Q_C &= (X_L - X_C) \cdot I^2; \\ S &= Z \cdot I^2, \end{aligned} \quad (1.1)$$

де P – активна потужність (Вт), Q_L , Q_C – реактивна потужність (ВАр) і S – повна потужність кола (ВА).

Коефіцієнт потужності визначається за виразом

$$\cos \phi = \frac{P}{S} = \frac{R}{Z}, \quad (1.2)$$

де R – активний опір кола, Z – повний опір кола.

Також можна вважати, що потужність у колі змінного струму виражається таким комплексним числом, що активна потужність є його дійсною частиною, реактивна потужність – уявною частиною, повна потужність – модулем, а кут ϕ (зсув фаз) – аргументом.

Для діючих значень напруги і струму будемо вживати тільки поняття «комплексна потужність». Введемо також поняття «спряженого комплексу струму».

Якщо $\dot{I} = I e^{j\phi}$, то спряжений комплекс струму буде дорівнювати:

$$\dot{I}^* = I e^{-j\phi}. \quad (1.3)$$

Добуток комплексу напруги і спряженого комплексу струму являє собою комплекс повної потужності:

$$\begin{aligned} \tilde{S} &= \dot{U} \dot{I}^* = U e^{j\phi_u} \cdot I e^{-j\phi_i} = U \cdot I e^{j(\phi_u - \phi_i)} = S e^{j\phi} = \\ &= S \cos \phi + j \sin \omega \phi = P + jQ, \end{aligned} \quad (1.4)$$

де P – активна потужність, Вт, Q – реактивна потужність ВАр, S – повна потужність ВА.

1.2.2. Вимірювання активної потужності у трифазних колах

Вимірювання активної потужності у трифазних колах здійснюють за допомогою трьох, двох або одного ватметрів, використовуючи різні схеми їх включення. Схема включення ватметрів для вимірювання активної потужності визначається схемою мережі (три- або чотирипровідна), схемою з'єднання фаз приймача (зірка або трикутник), характером навантаження (симетрична або несиметрична), доступністю нейтральної точки.

При несиметричному навантаженні у чотириланцюговому колі активну потужність вимірюють трьома ватметрами (рис. 1.2), кожен з яких вимірює потужність однієї фази – фазну потужність.

Активну потужність приймача визначають за сумою показань трьох ватметрів за формулою

$$P = P_1 + P_2 + P_3, \quad (1.5)$$

де $P_1 = U_A I_A \cos \varphi_A$; $P_2 = U_B I_B \cos \varphi_B$; $P_3 = U_C I_C \cos \varphi_C$.
(1.6)

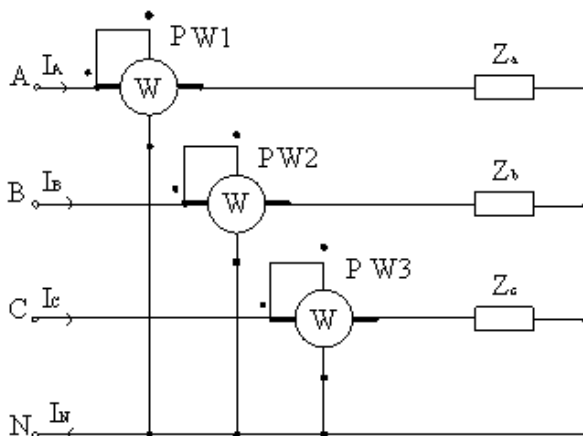


Рис. 1.2. Вимірювання активної потужності

Вимірювання потужності трьома ватметрами можливо при будь-яких умовах.

При симетричному приймачі і доступною нейтральній точці активну потужність приймача визначають за допомогою одного ватметра, вимірюючи активну потужність однієї фази P_ϕ за схемою рис. 1.3.

Активна потужність всього трифазного приймача дорівнює при цьому потроєному свідченню ватметра

$$P = 3 P_\phi. \quad (1.7)$$

На рис. 1.3. зображено включення приладу безпосередньо в одну з фаз приймача. У разі, якщо нейтральна точка приймача недоступна або затискачі фаз приймача, включеного трикутником не виведено, застосовують схему рис. 3.20 з використанням штучної нейтральної точки n . У цій схемі додатково у дві фази включають резистори з опором $R = R_V$.

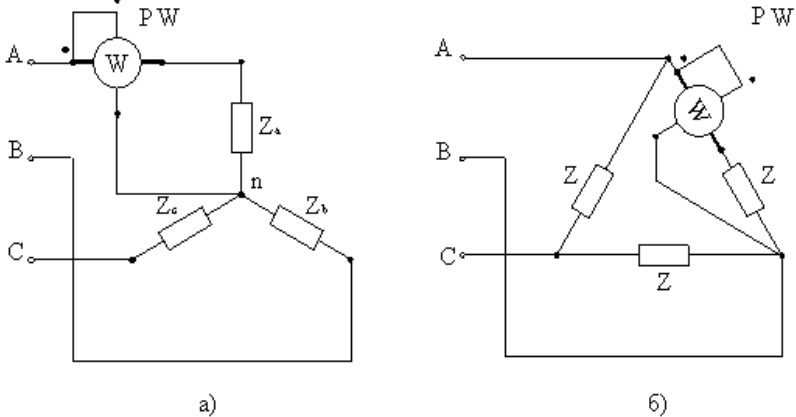


Рис. 1.3. Вимірювання активної потужності одним ватметром

У трипровідних трифазних ланцюгах при симетричному і несиметричному навантаженнях й будь-якому способі з'єднання приймачів широко поширена схема вимірювання активної потужності приймача двома ватметрами (рис. 1.4). Свідчення

двох ватметрами при певній схемі їх включення дозволяють визначити активну потужність трифазного приймача, включеного в ланцюг із симетричною напругою джерела живлення.

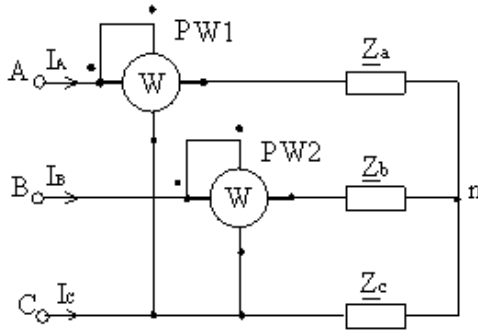


Рис. 1.4. Вимірювання активної потужності двома ватметрами у колі без нейтрального проводу

$$P_1 + P_2 = U_{\text{Л}} I_{\text{Л}} [\cos(\varphi - 30^\circ) + \cos(\varphi + 30^\circ)] = \sqrt{3} U_{\text{Л}} I_{\text{Л}} \cos \varphi.$$

Отже, сума показань двох ватметрів дійсно дорівнює активній потужності P трифазного приймача.

1.2.3. Вимірювання потужності трифазного кола трифазним ватметром із застосуванням вимірювальних трансформаторів струму і напруги

У разі використання при вимірюваннях потужності трансформаторів струму чи напруги вимірювана потужність дорівнюватиме показанню ватметра, помноженому на коефіцієнт трансформації трансформатора струму або напруги. Якщо ж користуватися і трансформаторами струму, й трансформаторами напруги, вимірювана потужність дорівнюватиме показанню ватметра, помноженому на добуток від множення коефіцієнтів трансформації трансформаторів, струму і напруги. Схему вимірювання потужності Z_1, Z_2, Z_3 трифазним ватметром із застосуванням трансформаторів струму $ТС1, ТС2$ і напруги $ТН1, ТН2$ зображено на рис. 1.5.

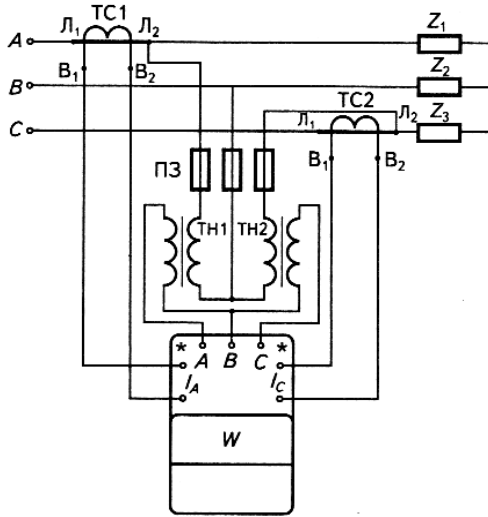


Рис. 1.5. Вимірювання потужності трифазного кола трифазним ватметром із застосуванням вимірювальних трансформаторів струму і напруги

Стационарні трифазні ватметри виготовляють відносно невисоких класів точності (2,5; 4,0), що пояснюється складністю виробництва цих приладів, у яких мають збігатися показання при роздільних вимірах окремо на кожному з елементів. У феродинамічних приладів, де різниця показів може виникнути через наявність дещо різного характеру зміни довжини повітряних проміжків у їхніх і магнітних системах, досягти цього складно.

1.2.4. Вимірювання реактивної потужності

Реактивну потужність споживачів електричної енергії вимірюють *варметрами*. Ці прилади конструктивно не відрізняються від ватметрів, що розглянуто раніше. Різниця полягає лише у схемі кіл напруги.

Якщо у ватметрів у колі напруги намагаються повністю компенсувати індуктивність котушок-рамок, то у варметрів у

цьому колі намагаються створити, за рахунок додаткових індуктивностей, зсув фази у 90° .

На жаль, сучасний рівень техніки не дає змоги простим ввімкненням індуктивності створити у будь-якому колі зсув фази у 90° між прикладеною до нього напругою і струмом через наявність активного опору у самої котушки індуктивності. Застосувавши ж подвійний зсув струму, як показано на схемі рис. 1.6, можна одержати зсув фаз на 90° і більше.

У цьому разі зсув струму у рамці i_p відносно напруги U вже нескладно буде дорегулювати точно до 90° . Для цього необхідно змінити якусь величину $r_{ш}$, $r_{рег}$ чи L_d , а то й дві з них.

Для вимірювання реактивної потужності у трифазних симетричних колах застосовують звичайний ватметр активної потужності. Необхідний зсув на 90° фази струму i_p обмотки-рамки відносно фазової напруги тієї фази, на струм якої ввімкнено струмову обмотку ватметра W , створюється сам собою. Це відбувається тому, що лінійна напруга між фазами, вільними від струмової обмотки ватметра W , зсунута на 90° відносно фазової напруги фази, у котру увімкнено струмову обмотку.

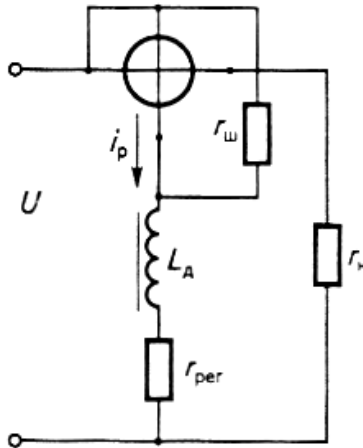


Рис. 1.6. Схема ватметра реактивної потужності для однофазних кіл

Для визначення повного значення реактивної потужності, споживаної всіма опорами навантаження Z_1 , Z_2 і Z_3 (які для цієї схеми мають бути однаковими), показання ватметра, що одержане, слід помножити на $\sqrt{3}$. Пояснюється це тим, що однофазний ватметр, застосований у цій схемі, вимірює лише потужність одного опору Z_1 (то виходить, що показання слід було б помножити на три), але при цих вимірюваннях до нього прикладено не фазову напругу, а більшу за неї у $\sqrt{3}$ рази лінійну напругу (тобто показання ватметра виявляються завищеними у $\sqrt{3}$ рази і їх необхідно було б зменшити у стільки ж разів). Таким чином, з одного боку, покази ватметра слід збільшити у три рази, а з іншого – зменшити у $\sqrt{3}$ рази, тобто ці покази необхідно збільшити у $\sqrt{3}/3$ рази.

Якщо ж для вимірювання реактивної потужності у такій чотирипровідній системі застосовано ватметри реактивної потужності (варметри), то їх вмикають як і звичайні ватметри активної потужності.

1.3. Технічні засоби обліку електроенергії

1.3.1. Загальні уявлення

Для обліку електроенергії знадобилося вирішити нове завдання – вимірювання електроенергії змінного струму. У 1885 році Галілео Ферраріс зробив важливе відкриття, що два поля змінного струму, які не збігаються по фазі, можуть змусити обертатися суцільний ротор, такий як диск або циліндр. У 1888 році, незалежно від нього, Нікола Тесла теж виявив обертове електричне поле.

Шелленбергер також, випадково, відкрив ефект обертових полів у 1888 році і розробив лічильник кількості електрики для змінного струму. Ці відкриття послужили основою для створення індукційних двигунів і відкрили шлях індукційним лічильниками.

Для вимірювання потужності в колах змінного струму частотою 50...1000 Гц використовуються, переважно, електроди-

намічні та феродинамічні ватметри. Ці прилади, особливо електродинамічні ватметри, використовуються також для вимірювань у звуковому діапазоні частот – до 10...50 кГц. У цьому випадку вони мають або фіксовані частоти або порівняно вузький частотний діапазон. При вимірюванні на змінному струмі частотою до 200...400 Гц похибки електродинамічних ватметрів становлять 0,1 % і більше, а феродинамічних – не менше 0,2 %. Границі вимірювань електро- та феродинамічних ватметрів звичайно не нижче відповідно 0,1 А та 30 В.

Розширення границь вимірювань у бік малих значень напруги та струму, зменшення споживання від досліджуваного об'єкта досягають попереднім підсиленням вхідних параметрів.

Відомі електродинамічні ватметри (класу 0,05...0,1) з підсилювачами для діапазону частот до 10^4 Гц. Існує також широка номенклатура самописних ватметрів. Для реєстрації потужності в колах звукової частоти використовуються осцилографічні ватметри. Електростатичні ватметри доцільно використовувати для вимірювань потужності змінного струму при частотах понад 1 кГц включно до декількох мегагерц.

На основі перетворювачів Холла створені ватметри з похибкою 0,2–0,5 % для вимірювань активної потужності в однофазних колах змінного струму в діапазоні частот від 40 до 450 Гц.

Ватметри, в основу принципу дії яких закладений модуляційний метод, забезпечують високу точність вимірювання активної потужності в промисловій електромережі – до 0,02...0,05 % при коефіцієнті потужності, що дорівнює одиниці. Перевагою таких ватметрів є можливість порівняно простого отримання результату у вигляді цифрового коду. Частотний діапазон вхідних сигналів для таких ватметрів не перевищує 20 кГц.

Для отримання добутку двох величин на підвищених частотах (до 10 МГц) використовують пристрої з прямим і непрямим перемноженням вхідних величин. Найпоширеніші перемножувачі, побудовані на диференційних транзисторних парах, з використанням методу змінної крутизни. Вихідна напруга такого пристрою пропорційна добуткові двох вхідних напруг. Під'єднання до виходу цього перемножувача пристрою усереднення дозволяє отримати на виході напругу, що дорівнює

активній потужності. Цей метод перетворення покладено в основу спеціалізованих інтегральних мікросхем.

При вимірюваннях в промисловій електромережі широке застосування знайшли ватметри, в яких здійснюється проміжне перетворення миттєвих значень напруги і струму в цифровий код за допомогою АЦП з подальшим обчисленням за вищевказаним алгоритмом значень активної, реактивної і повної потужності. Таким вимірювачам потужностей властиві висока швидкодія (час вимірювання – від двох до десяти періодів повторення промислової частоти), висока точність вимірювання (похибка в межах $\pm 0,05 \dots 0,20 \%$) та зручність форми результату вимірювань для подальшого використання.

1.3.2. Електричні лічильники для змінних струмів

У 1889 році угорець Отто Тітус Блаті (1860–1939), працюючи на заводі «Ганц» (Ganz) в м. Будапешт (Угорщина), запатентував свій «Електричний лічильник для змінних струмів» (патент Німеччини № 52.793, патент США № 423.210). З таким пристроєм Блаті вдалося досягти внутрішнього зміщення фаз майже на 90° , тому лічильник відображав ват-години більш-менш точно. У лічильнику використовувався



гальмівний електромагніт для забезпечення широкого діапазону вимірювань, а також був передбачений циклометричний реєстр. У тому ж році компанія «Ganz» приступила до виробництва. Перші лічильники кріпилися на дерев'яній основі (рис. 1.7), роблячи 240 обертів за хвилину, і важили 23 кг. До 1914 року вага знизилася до 2,6 кг.

Рис. 1.7. Перші електролічильники

У 1894 році Олівер Блекбурн Шелленбергер (1860–1898) розробив лічильник ват-годин індукційного типу для компанії «Вестінгхаус» (Westinghouse).

У ньому котушки струму і напруги розташовувалися на протилежних сторонах диска, і два постійних магніти сповільнювали рух цього диска. Цей лічильник теж був великим і важким, вагою в 41 фунт. У нього був барабанный рахунковий механізм.

Всі лічильники електричної енергії [можна класифікувати за типом підключення, вимірюваними величинами та конструкцією (рис.1.8).



Рис. 1.8. Класифікація лічильників електричної енергії

1.3.3. Принцип роботи однофазного індукційного лічильника

Основними елементами вимірювального механізму лічильника є (рис. 3.7) послідовний (M_I) та паралельний (M_U) електромагніти, постійний магніт M , алюмінієвий диск, закріплений на осі. У зв'язку з наявністю великих повітряних прошарків на шляху електромагнітних потоків Φ_I та Φ_U , можна приблизно записати:

$$\begin{aligned} \Phi_I &= k_I I; \\ \Phi_U &= k_U \cdot I_U = k_U \cdot \frac{U}{Z_U}; \\ \Phi_U &= \frac{k_U \cdot U}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_U}, \end{aligned} \quad (1.8)$$

де U – напруга на паралельній обмотці; Z_U – повний опір паралельної обмотки; L_U – індуктивність паралельної обмотки; I_U – струм паралельної обмотки.

Результуючий момент сил M , що діють на диск лічильника, визначається за формулою:

$$M = c \cdot f \cdot \Phi_I \cdot \Phi_U \cdot \sin \psi, \quad (1.8)$$

де c – коефіцієнт пропорційності; ψ – кут зсуву фаз між потоками Φ_I та Φ_U . Якщо підставити в цю формулу отримані вище значення магнітних потоків, утворених паралельною та послідовною котушками, то одержимо:

$$M = k \cdot U \cdot I \cdot \sin \psi. \quad (1.9)$$

Рівність моментів тертя та обертаючого визначають поріг чутливості лічильника.

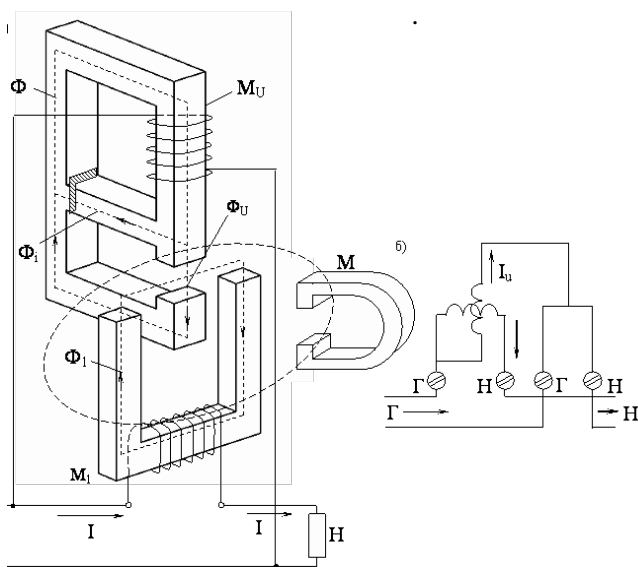


Рис. 1.9. Схема однофазного індукційного лічильника

Під порогом чутливості лічильника S приймається співвідношення мінімальної потужності P_{min} , за якої диск

починає обертатися без зупинки, та номінальній потужності P_{nom} :

$$S = \frac{P_{min}}{P_{nom}}.$$

Клас точності лічильника – це найбільша допустима відносна похибка, котра виражається у відсотках. Відповідно до ГОСТ 6570-75 лічильники активної енергії повинні виготовлятися класів точності 0,5; 1,0; 2,0; 2,5; лічильники реактивної енергії – класів точності 1,5; 2,0; 3,0.

Індукційні прилади не піддаються впливу магнітних полів, стійкі до перевантажень, прості за конструкцією, надійні в роботі. За способом включення лічильники можна розділити на 3 групи:

Лічильники безпосереднього включення (прямого), вмикаються в мережу без вимірювальних трансформаторів. Такі лічильники випускаються для мереж 0,4 / 0,22 кВ на струми до 100 А.

Лічильники трансформаторного включення, своїми струмовими обмотками включаються через трансформатори струму. Обмотки напруги включаються безпосередньо в мережу. Область застосування – мережі до 1 кВ.

Лічильники непрямого включення, включаються в мережу через трансформатори струму та трансформатори напруги. Область застосування – мережі вище 1 кВ.

Лічильники непрямого включення виготовляються двох типів. Трансформаторні лічильники призначені для включення через вимірювальні трансформатори, які мають певні наперед задані коефіцієнти трансформації. Ці лічильники мають десятковий перерахунковий коефіцієнт. Трансформаторні універсальні лічильники – призначені для включення через вимірювальні трансформатори, що мають будь-які коефіцієнти трансформації.

1.3.4. Електролічильники спеціального призначення

Двотарифні і багатотарифні лічильники – застосовуються для обліку електроенергії, тариф на яку змінюється залежно від часу доби.

Лічильники з попередньою оплатою – застосовуються для обліку електроенергії побутових споживачів, що живуть, як правило, у віддалених і важкодоступних населених пунктах.

Лічильники з фіксацією максимального навантаження – застосовуються для розрахунків із споживачами за двох ставковим тарифом (за спожиту електроенергію і максимальне навантаження).

Зразкові лічильники – (еталони) прилади обліку електричної електроенергії, за допомогою яких здійснюється повірка лічильників загального призначення.

Залежно від призначення лічильнику присвоюється умовне позначення. В позначенні лічильників букви і цифри означають: С – лічильник; О – однофазний; А – активної енергії; Р – реактивної енергії; У – універсальний; 3 або 4 для трьох- або чотирьохпровідної мережі. Якщо на табличці лічильника поставлена буква М, це означає, що лічильник призначений для роботи при мінусових температурах (до $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$).

По класу точності обліку електроенергії індукційні лічильники активної енергії діляться на класи точності 0,5; 1,0; 2,0 і 2,5, а індукційні лічильники реактивної енергії – на класи 1,5; 2,0 і 3,0. Клас точності лічильника визначає найбільшу припустиму відносну похибку лічильника у відсотках за нормальних умов роботи. На рис 3.8. зображений загальний вид сучасного лічильника електричної енергії.

1.3.5. Цифрові лічильники електроенергії

Цифровий лічильник електричної енергії (англ. *Electricity meter*) – вимірювальний прилад, засіб обліку спожитої електричної енергії змінного або постійного струму.

Для розрахунку електричної енергії, яка споживається за певний період часу, необхідно інтегрувати в часі миттєві значення активної потужності.

Для синусоїдального сигналу потужність дорівнює добутку напруги на струм у мережі в даний момент часу. На цьому принципі працює будь-який лічильник електричної енергії. Реалізація цифрового лічильника електричної енергії (рис. 1.10) вимагає спеціалізованих інтегральних схем (ІС),

здатних виробляти перемножування сигналів і надавати отриману величину в зручній для мікроконтролера формі.

Навантаження

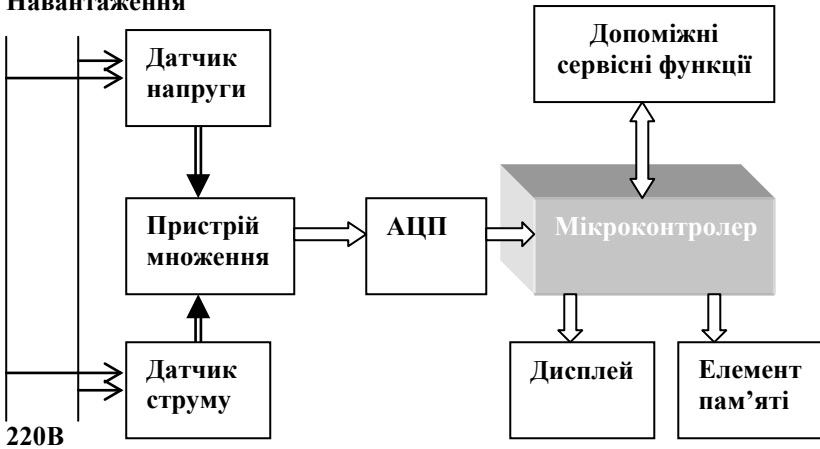


Рис. 1.10. Спрощена блок-схема цифрового лічильника електричної енергії

Наприклад, перетворювач активної потужності – в частоту проходження імпульсів. Загальна кількість імпульсів, що надійшли, підраховуємо мікроконтролером прямопропорційно споживаній електроенергії.

Не менш важливу роль відіграють всілякі сервісні функції, такі як дистанційний доступ до лічильника, до інформації про накопичення енергії та багато інших. Наявність цифрового дисплея, керованого від мікроконтролера, дозволяє програмно встановлювати різні режими виведення інформації, наприклад, виводити на дисплей інформацію про спожиту енергію за кожен місяць та за різними тарифами і так далі.

Для виконання деяких нестандартних функцій, наприклад, узгодження рівнів, використовуються додаткові ІС.

Нині почали випускати спеціалізовані ІС – перетворювачі потужності в частоту – і спеціалізовані мікроконтролери, які містять подібні перетворювачі на кристалі. Але, часто, вони занадто дорогі для використання в комунально-побутових індукційних лічильниках. Тому багато світових виробників

мікроконтролерів розробляють спеціалізовані мікросхеми, призначені для такого застосування.

Розглянутий лічильник фактично являє собою цифровий функціональний аналог існуючих механічних лічильників, пристосований до подальшого вдосконалення. Програмування лічильника здійснюється через інтерфейс RS-485 за допомогою фіксованої системи команд.

Стосовно до лічильників електроенергії (ЦЛЕ), очевидні переваги, пов'язані з переходом на мікроконтролерне керування, можна узагальнити таким чином:

- У ЦЛЕ досяжний практично будь-який клас точності, за умови вибору відповідної елементної бази та алгоритмів обробки інформації. Відсутність механічних частин значно підвищує надійність пристрою.

- Обробка аналогової інформації в цифровому вигляді принципово дозволяє одночасно визначати як активну, так і реактивну складові потужності, що є важливим, наприклад, при обліку розподілу енергії в трифазних мережах.

- З'являється можливість створення багатотарифних лічильників. При роботі такого лічильника значення накопиченої енергії записується в накопичувальний буфер поточного тарифу. Вибір поточного тарифу здійснюється автоматично.



Рис. 1.10. Сучасний цифровий лічильник електричної енергії

ЗМІСТ

АБРЕВІАТУРИ І СКОРОЧЕННЯ	3
ПЕРЕДМОВА	5
ВСТУП	8
Частина 1. НОРМАТИВНА БАЗА ОБЛІКУ ЕНЕРГОНОСІЇВ	11
Розділ 1. НОРМАТИВНО-ПРАВОВІ АКТИ УКРАЇНИ У СФЕРІ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ	12
1.1. Загальні відомості	12
1.2. Правова основа в сфері енергозбереження	13
1.3. Пріоритетні напрями енергетичної безпеки України	15
1.4. Можливі фактори загрози енергетичній безпеці України	17
1.5. Забезпечення енергетичної безпеки України	18
1.6. Енергоаудит. Методологія проведення енергоаудиту	20
1.6.1. Загальні уявлення	20
1.6.2. Основні завдання енергоаудиту	21
<i>Питання для самоконтролю</i>	28
Розділ 2. РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ОБЛІКУ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ	29
2.1. Загальні відомості	29
2.2. Загальні положення про облік електроенергії	30
2.2.1. Багатотарифний облік електроенергії на підприємстві	32
2.2.2. Облік електроенергії в побуті	33
2.3. Загальні положення про облік споживання теплової енергії	34
2.3.1. Облік використання тепла споживачами	35
2.3.2. Комерційний облік теплової енергії, холодної (питної) та гарячої води	38
2.4. Загальні вимоги до обліку споживання газу	39
2.4.1. Облік об'ємного витрату газу	40
2.4.2. Облік природного газу під час його транспортування	41
2.4.3. Метрологічне забезпечення витрат газу	42
2.5. Загальні положення про облік споживання нафти та нафтопродуктів	44
2.5.1. Метрологічне забезпечення приймання, зберігання, транспортування, відпуску та обліку нафти	45
2.5.2. Об'ємно-масовий статичний метод визначення маси нафти і нафтопродуктів	47

2.6. Облік енергоресурсів на базі автономних енергонезалежних приладів обліку	47
2.7. Енергозберігаючі заходи обліку витрат енергоносіїв	49
<i>Питання для самоконтролю</i>	52
Частина 2. ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ОБЛІКУ ВИТРАТ ЕНЕРГОНОСІЇВ	53
Розділ 1. ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ОБЛІКУ ВИТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ	54
1.1. Значення електроенергетики в господарській діяльності	54
1.2. Методи вимірювання потужності електричного струму	56
1.2.1. Вимірювання потужності змінного струму в однофазних колах	57
1.2.2. Вимірювання активної потужності в трифазних колах	59
1.2.3. Вимірювання потужності трифазного кола трифазним ватметром із застосуванням вимірювальних трансформаторів струму і напруги	61
1.2.4. Вимірювання реактивної потужності	62
1.3. Технічні засоби обліку електроенергії	64
1.3.1. Загальні уявлення	64
1.3.2. Електричні лічильники для змінних струмів	66
1.3.3. Принцип роботи однофазного індукційного лічильника	67
1.3.4. Електролічильники спеціального призначення	69
1.3.5. Цифрові лічильники електроенергії	70
<i>Питання для самоконтролю</i>	73
Розділ 2. ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ОБЛІКУ ВИТРАТ ТЕПЛОЕНЕРГОНОСІЇВ	74
2.1. Загальні відомості	74
2.2. Технічні засоби обліку теплової енергії	76
2.2.1. Загальні відомості	76
2.2.2. Лічильники витрат теплової енергії	81
2.5. Мікроконтролерний лічильник обліку витрат води в трубопроводі	89
<i>Питання для самоконтролю</i>	94
Розділ 3. ПРИЛАДИ ОБЛІКУ ГАЗУ	95
3.1. Історична довідка	95
3.2. Стандарти і нормативи обліку газу	96
3.3. Технічні засоби обліку газу. Лічильники газу	98
3.3.1. Мембранні лічильники газу	99
3.3.2. Ротаційні лічильники газу	100
3.3.3. Турбінні лічильники газу	102
3.3.4. Вихрові витратоміри газу	104

3.3.5. Акустичні (ультразвукові) витратоміри	105
3.4. Єдина система обліку газу	108
<i>Питання для самоконтролю</i>	112
Розділ 4. ПРИЛАДИ ОБЛІКУ НАФТИ ТА НАФТОПРОДУКТІВ	
4.1. Історична довідка	113
4.2. Витратоміри сирової нафти та нафтопродуктів. Загальні відомості	115
4.3. Класифікація витратомірів. Принцип роботи	118
4.3.1. Витратоміри механічної дії	119
4.3.2. Витратоміри на основі хвильових явищ	120
4.3.3. Міткові витратоміри	122
4.3.4. Витратоміри комплексної модифікації	122
<i>Питання для самоконтролю</i>	123
Розділ 5. АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ ОБЛІКУ ТА КОНТРОЛЮ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ	
5.1. Загальні відомості	124
5.2. Комплексна автоматизована система обліку та контролю енергоресурсів з використанням радіоканалів	126
5.3. Системи автоматичного обліку енергії і регулювання витрат електричної енергії	129
5.3.1. Автоматизована система оперативного та комерційного обліку електроспоживання «ПРАЙМ-ЕНЕРГО»	129
5.3.2. Системи обліку енергоресурсів АСКОВЕ	131
5.3.3. Автоматизована система обліку електричної енергії з контролем показників якості	136
5.4. Інформаційно-вимірювальні системи індивідуального обліку теплової енергії	137
5.5. Інформаційно-вимірювальні комплекси обліку газу	138
5.6. Вузли обліку нафти та нафтопродуктів	141
<i>Питання для самоконтролю</i>	144
ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ СЛОВНИК	145
ЛІТЕРАТУРНІ ДЖЕРЕЛА	153