

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

В. В. Грабко, С. М. Левицький

**СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ
ТРАНСФОРМАТОРАМИ З ПОЗДОВЖНЬО-
ПОПЕРЕЧНИМ РЕГУЛЮВАННЯМ НАПРУГИ
ПІД НАВАНТАЖЕННЯМ**

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2010

УДК 621.314.222
ББК 31.261.8+32.965
Г 75

Рекомендовано до видання Ученою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 10 від 28.05.2009 р.).

Рецензенти:

О. М. Сінчук, доктор технічних наук, професор

В. М. Кутін, доктор технічних наук, професор

Грабко, В. В.

Г 75 Система автоматичного керування трансформаторами з позовжно-поперечним регулюванням напруги під навантаженням : монографія / В. В. Грабко, С. М. Левицький. — Вінниця : ВНТУ, 2010. — 119 с.

ISBN 978-966-641-335-5

В монографії представлено математичну, функціональну, та комп'ютерну моделі системи автоматичного керування трансформаторами з позовжно-поперечним регулюванням напруги під навантаженням, які виконано на підставі розробленого закону керування. Розглянуто мікропроцесорну реалізацію системи керування.

Розрахована на інженерно-технічних працівників електроенергетичних компаній, студентів та аспірантів вузів, котрі спеціалізуються в галузі розробки систем керування електротехнічними комплексами.

УДК 621.314.222
ББК 31.261.8+32.965

ISBN 978-966-641-335-5

© В. Грабко, С. Левицький, 2010

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	5
Вступ	6
Розділ 1. Аналіз сучасного стану поздовжньо-поперечного регулювання напруги	9
1.1. Технічні засоби для регулювання напруги з застосуванням вольтододаткових трансформаторів	9
1.2. Поздовжньо-поперечне регулювання напруги в системах електропостачання з контролем технічного та економічного ефекту	17
1.3. Регулювання напруги в системах електропостачання з компенсацією реактивної потужності	22
1.4. Поздовжньо-поперечне регулювання напруги в замкнених мережах систем електропостачання	26
1.5. Узагальнення результатів аналізу	29
Розділ 2. Синтез закону та структури системи автоматичного поздовжньо-поперечного регулювання напруги	30
2.1. Вплив поперечного регулювання напруги на режим мереж за потужністю	30
2.2. Синтез закону поздовжньо-поперечного регулювання напруги	33
2.3. Вибір математичного апарату, придатного для розв'язання задачі	37
2.4. Синтез структури системи автоматичного керування трансформаторами з поздовжньо-поперечним регулюванням напруги	38
2.5. Реалізація синтезованої структури системи автоматичного керування трансформаторами з поздовжньо-поперечним регулюванням напруги	42
Розділ 3. Дослідження якості розробленої системи регулювання напруги	57
3.1. Розроблення математичної моделі для дослідження роботи системи	57
3.2. Комп'ютерне моделювання роботи системи регулювання напруги і дослідження її на стійкість	60
Розділ 4. Мікропроцесорна реалізація системи автоматичного керування трансформаторами з поздовжньо-поперечним регулюванням напруги	78

4.1. Мікропроцесорна реалізація регулятора напруги для поздовжньо-поперечного регулювання.....	78
4.2. Розробка програмного забезпечення мікропроцесорного регулятора для системи автоматичного керування трансформаторами з поздовжньо-поперечним регулюванням напруги	79
4.3. Оцінка похибок вимірювальних каналів мікропроцесорного регулятора в системі поздовжньо-поперечного регулювання напруги.....	82
4.3.1. Похибки вимірювальних трансформаторів струму та напруги	83
4.3.2. Похибки вимірювальних перетворювачів напруги, струму та потужності.....	87
4.3.3. Похибки аналого-цифрових перетворювачів.....	88
4.3.4 Оцінка помилок першого і другого роду при вимірюванні напруги	92
Висновки	97
Література	99
Додаток А. Дослідження моделі комплексу поздовжньо-поперечного регулювання напруги	111
Додаток Б. Моделювання впливу поперечної вольтдобавки на приріст активної та реактивної потужності.....	114
Додаток В. Оцінка помилок першого і другого роду регулятора напруги	115

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АЦП	—	аналого-цифровий перетворювач
БГР	—	блок гальванічної розв'язки
БК	—	батарея конденсаторів
БПСП	—	блок перетворення імпульсного сигналу в потенційний
БФЗН	—	блок формування зони нечутливості
БФУ	—	блок формування уставки
ВДТ	—	вольтододатковий трансформатор
ВН	—	висока напруга
ГТІ	—	генератор тактових імпульсів
ДРП	—	джерело реактивної потужності
ЕРС	—	електрорушійна сила
ЛЕП	—	лінія електропередачі
ЛТ	—	лінійний трансформатор
НН	—	низька напруга
ПБЗ	—	перемикання без збудження
ПІД	—	пропорційно-інтегрально-диференціальний
ПН	—	перетворювач напруги (нормуючий)
ПП	—	перетворювач потужності (вимірювальний)
ППП	—	пакет прикладних програм
ПС	—	перетворювач струму (нормуючий)
РПН	—	регулювання під навантаженням
СК	—	синхронний компенсатор
СКВ	—	середньо-квадратичне відхилення
ТН	—	трансформатор напруги
ТС	—	трансформатор струму
ТПР	—	трансформатор поперечного регулювання
ФСРНН	—	формувавч сигналів рівня напруги на навантаженні

ВСТУП

Актуальність теми. Впровадження сучасних технологій та новітніх систем автоматизації в вітчизняній промисловості ставить нові вимоги до якості електроенергії та надійності електропостачання підприємств. Електроенергія розглядається як предмет споживання та продажу і повинна відповідати нормам якості [1]. Причому для надання послуг електропостачання слід підтримувати вказані показники (відхилення, несиметрію, несинусоїдність напруги, частоту та ін.) на належному рівні за допомогою спеціальних технічних засобів [2], оскільки електроенергія є специфічним товаром, що споживається практично миттєво, відразу ж після її виробництва.

Внаслідок значної протяжності ліній електропередач від електростанцій до споживачів та багатоетапної трансформації електроенергії особливо важливе значення має підтримання норм якості електроенергії не на самих електростанціях, а безпосередньо на вводах споживачів електроенергії. Вирішення цієї задачі необхідне саме на рівні розподільчих мереж [3]. Більшість крупних споживачів потребують надійного підтримання встановленого рівня напруги на їх вводах, оскільки інші критерії (форма та частота напруги) більше впливають на втрати енергії в лініях електропередач та обладнанні підстанцій і, відповідно, в їх зменшенні зацікавлені електропостачальні організації [4, 5].

Існує кілька різновидів систем автоматичного регулювання напруги, які відрізняються способами введення регульовального впливу [6]. Однак більшість розроблених систем мають на меті регулювання за відхиленням, в той час як потрібно враховувати причину відхилення напруги від номінального значення. Комплексне вирішення питання регулювання напруги (за відхиленням та за різного роду збуреннями) дозволить збільшити надійність як електропостачання, так і обладнання розподільчих мереж та підстанцій [7].

Основним збуренням, що викликає відхилення напруги в розподільчих мережах та на вводах споживачів є зміна режиму вузла електропостачання за потужністю (активною, реактивною, повною), відповідно, для своєчасного регулювання напруги слід вводити регульовальну дію перш за все, змінюючи режим поточкорозподілу потужності через підстанцію, запобігаючи відхиленню напруги в кінці лінії [8]. Такі висновки відносяться в основному до реактивної потужності, транзит якої по лініях електропередач намагаються довести до економічно доцільного значення, використовуючи компенсаційні пристрої. Визначене наперед значення споживаної

реактивної потужності споживачів дозволить розрахувати потужність компенсаційних пристроїв або інших джерел реактивної потужності, необхідних для розв'язання задачі комплексного регулювання напруги [9].

На сучасному етапі у вітчизняних електротехнічних комплексах електропостачання планується проведення реконструкції обладнання, яка зумовлена значним рівнем зношення та наростанням споживання електроенергії. Але у зв'язку зі складним станом фінансування висувається вимога максимального використання робочого ресурсу електротехнічного обладнання, що знаходиться в експлуатації, а також оптимального використання трудових ресурсів обслуговуючого та ремонтного персоналу.

Потребує перегляду, відповідно, реалізація технічних засобів регулювання напруги розподільчих мереж та впровадження більш досконалих законів регулювання напруги. Основними засобами регулювання напруги в розподільчих мережах є силові трансформатори з пристроями регулювання під навантаженням (РПН) (з обмеженим ресурсом кількості перемикачів [10]). Ресурс механічних контактів пристрою РПН силового трансформатора порівняно малий, оскільки доводиться комутувати робочі струми. Ускладнений ремонт та перерви в електропостачанні, пов'язані з ремонтом пристроїв РПН, призводять до того, що оперативний персонал підстанцій проводить перемикачів відгалужень силового трансформатора якомога рідше. Відповідно якість напруги значно знижується, а втрати від неякісного електропостачання зростають. Для покращення режиму системи електропостачання за напругою і підвищення терміну їх експлуатації вказані пристрої потрібно розвантажити від проведення зайвих перемикачів, викликаних відхиленнями напруги внаслідок складного режиму навантаження, наступними різкими змінами втрат активної та реактивної потужностей, змінами режиму системи електропостачання за потужністю (як переважаючого чинника встановленого рівня напруги в системі електропостачання), використовуючи додаткові шляхи регулювання напруги та перетоку реактивної потужності.

Однією з причин, що викликають відхилення напруги на вводах споживачів, є зміна характеру навантаження та пов'язана з нею зміна режиму системи електропостачання по реактивній потужності. Крім впливу на рівень напруги на вводах споживачів, слід підкреслити, що оплата за додатково спожиту реактивну енергію проводиться відповідно до затвердженої методики, яка передбачає основну та додаткову плату за відсутність або недостатню кількість засобів компенсації реактивної енергії. Ефективним способом управління режимом системи електропостачання за потужністю є застосування

батареї статичних конденсаторів, статичних тиристорних компенсаторів [6], але цілком поєднати і автоматизувати управління пристроями РПН та, наприклад, батареями конденсаторів в межах однієї підстанції досить складно і в більшості випадків таке регулювання розглядається і проводиться окремо. Крім того конденсаторні батареї при їх паралельному включенні (установки поперечної компенсації) застосовуються як компенсуючі, тому для широкого діапазону регулювання балансу потрібно мати певний надлишок потужності компенсуючих пристроїв, що приводить до відповідних перевитрат. При послідовній компенсації за допомогою батарей конденсаторів зменшуються лише втрати реактивної потужності, але не змінюється споживання останньої з системи електропостачання.

Отже питання розробки електротехнічних комплексів (особливо з мікропроцесорними системами керування) для регулювання напруги та одночасного створення задовільного режиму системи електропостачання по реактивній потужності, є актуальним як з технічної точки зору, що забезпечить гнучкість у вирішенні поставлених завдань, так і з економічної сторони, оскільки присутнє спрямування на зменшення втрат електроенергії, та покращення її якості.

Дослідженню та створенню засобів регулювання напруги в мережах електропостачання та пов'язане з ними керування перетоками потужності відводиться велика кількість робіт вітчизняних та зарубіжних вчених. Вагомий внесок в розвиток питання оптимізації енергосистем за потоками потужності, втратами, напругою і іншими параметрами зробили вчені: К. А. Ананьєв, Я. Д. Баркан, В. А. Веніков, А. Д. Веселов, Л. А. Герман, П. П. Говоров, М. І. Гончар, В. І. Ідельчик, В. С. Клімаш, П. Д. Лежнюк, М. А. Мельніков, Б. І. Мокін, Б. С. Рогальський та ряд інших.

Відгуки, зауваження і побажання просимо надсилати за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, Видавництво ВНТУ „УНІВЕРСУМ-Вінниця”.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПОЗДОВЖНЬО-ПОПЕРЕЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ

1.1. Технічні засоби для регулювання напруги з застосуванням вольтододаткових трансформаторів

Основним засобом регулювання напруги в розподільчих мережах електропостачальних систем є трансформатори районних підстанцій, оскільки вони можуть узгодити вимоги до напруги близьких і віддалених споживачів [11–15].

Трансформатори можуть бути під'єднані в різних пунктах електричних мереж, в яких режим напруги заздалегідь, як правило, невідомий і, крім того, може змінюватись в процесі експлуатації мережі. Тому трансформатори мають крім основних ще й регульовальні відгалуження. Змінюючи ці відгалуження, можна дещо змінити коефіцієнт трансформації (в межах 10 – 20%). Як правило, регульовальні відгалуження виконуються на стороні високої напруги (ВН) трансформатора, яка має менший робочий струм. При цьому спрощується пристрій перемикачів. Додатковим засобом регулювання напруги є застосування вольтододаткових трансформаторів (ВДТ). Використання останніх дозволяє залежно від їх схеми вмикання вводити до вектора напруги мережі додаткову поздовжню, поперечну або поздовжньо-поперечну ЕРС і координувати тим самим не лише рівень напруги, а й поточкорозподіл потужності в замкнутих мережах систем електропостачання.

Трансформатори з поздовжнім регулюванням напруги під навантаженням [16], тобто з вбудованим пристроєм РПН [17–19] відрізняються від трансформаторів з перемикачів без збудження ПБЗ наявністю спеціального пристрою перемикачів, а також збільшеною кількістю ступенів регульовальних відгалужень і діапазоном регулювання.

Трансформатор поперечного регулювання (ТПР) виконаний як лінійний ВДТ, ЕРС вторинної обмотки якого зміщена відносно ЕРС основного трансформатора на 90° ел. ТПР побудований за схемою, що представлена на рис. 1.1. ТПР це окремий трансформатор, що складається з живильного трансформатора 1 та послідовного трансформатора 2. Первинна обмотка 3 живильного трансформатора отримує живлення від двох фаз обмотки НН основного трансформатора. Вторинна обмотка живильного трансформатора виконана секціонованою, що підключається до виводу первинної обмотки послідовного трансформатора через пристрій РПН 5.

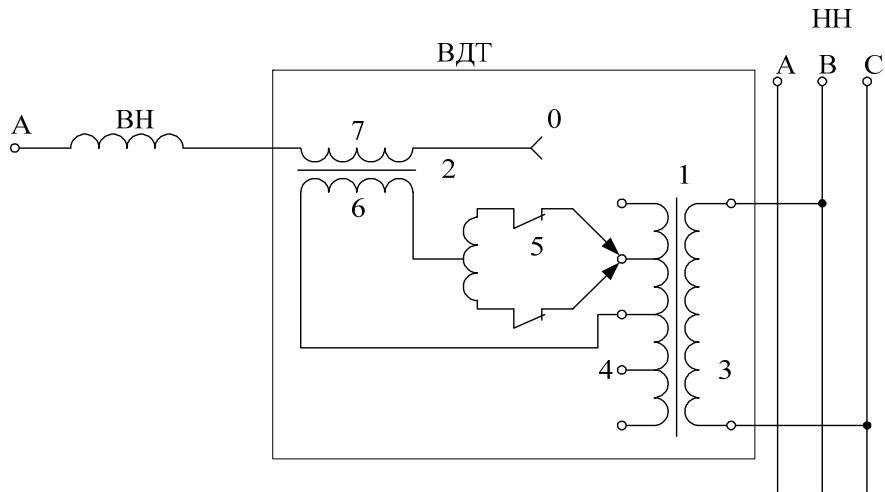


Рис. 1.1. Трансформатор поперечного регулювання з РПН

Другий вивід первинної обмотки послідовного трансформатора приєднаний до середньої точки вторинної обмотки 4 живильного трансформатора. Вторинна обмотка 7 послідовного трансформатора вмикається послідовно в нейтраль обмотки ВН основного трансформатора. Перемикання пристрою РПН проводиться за такою ж послідовністю, як і в пристроях РПН основного трансформатора [20]. Трансформатор поперечного регулювання (ТПР) застосовується для регулювання струморозподілення активної потужності [21], в мережах з трансформаторними зв'язками.

Пристрій для регулювання змінної напруги з застосуванням ВДТ запропонований в [22]. Він містить два послідовно увімкнені однофазних ВДТ, та три керованих елементи. Перший керований елемент подає напругу на первинну обмотку першого по ходу сигналу трансформатора, другий елемент, увімкнений послідовно з дроселем, зашунтовує первинну обмотку першого трансформатора. Третій керований елемент виконаний у вигляді моста з чотирьох керованих ключів. Застосування запропонованого пристрою в системах електропостачання обмежене через ускладнення виконання комутаційних елементів на високу напругу та наявність вищих гармонік, що викликані комутацією ключів в двопівперіодній схемі випрямлення.

Має місце застосування ВДТ для підвищення надійності систем регулювання напруги [23]. Функціональна схема підстанції з застосуванням ВДТ представлена на рис. 1.2. Схема підстанції, що зображена на рис. 1.6 містить основний трансформатор 1 з обмотками високої та низької напруги 2 і 3 відповідно, ВДТ 5 з обмоткою низької напруги 4 та високої напруги 6, вимикачі 9 та 10.

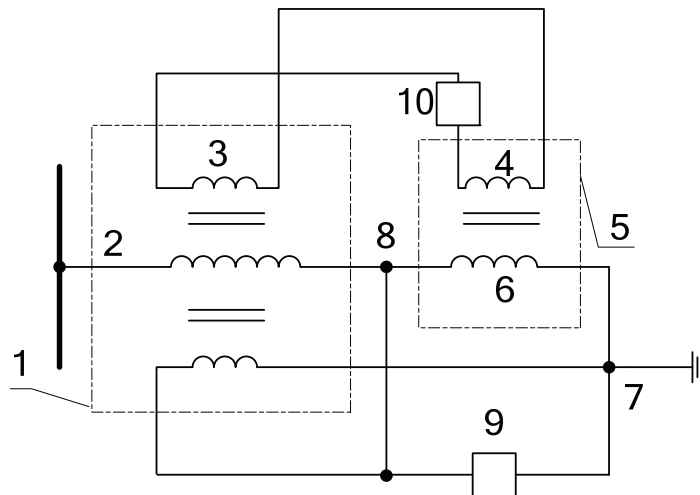


Рис. 1.2. Функціональна схема підстанції з застосуванням ВДТ для одноступеневого регулювання напруги

Обмотка 6 ВДТ включена між землею 7 і нульовою точкою 8 основного трансформатора 1. При необхідності змінити напругу на шинах підстанції, змінити коефіцієнт трансформації (наприклад, збільшити його) вимикають вимикач 10 і з невеликою витримкою часу вмикають вимикач 9. При цьому трансформатор 5 буде короткочасно (0,1 – 0,3 с) працювати в області насичення, опір обмотки ВН ВДТ різко знизиться і напруга на ній складе 1,3 – 1,5 від номінального значення. При цьому ВДТ виключається з схеми, а напруга на шинах високої напруги ПС збільшується (при постійній нарузі на шинах середньої напруги). Компонування ВДТ з основним трансформатором дозволяє уникнути зайвих перемикачів пристроїв РПН, але розглянутий в [23] пристрій не забезпечує управління ВДТ в функції керування перетоком потужності, а також має низьку точність регулювання напруги.

Врахування потужності навантаження в пристроях для регулювання напруги за допомогою силового трансформатора з РПН, дозволяє покращити якість регулювання напруги. Такий пристрій описаний в [24]. Пристрій містить три диференціюючі блоки 1–3, три тригери 4–6, елементи І 7 і АБО 8, блок 9 регулювання напруги під навантаженням, знакоаналізуючий блок 10, фазовимірювальний блок 11, телеканали зв'язку 12, блок ділення 13, формувач дозволяючого сигналу 14, трансформатор вузла навантаження 15 і лічильник напруги 16 (рис. 1.3). Перемикач відгалужень трансформатора 15 проводиться блоком 9 регулювання напруги під навантаженням з урахуванням мінімуму втрат активної потужності, залежного від коефіцієнта завантаження двигунів, що входять до складу вузла навантаження, за допомогою блока ділення 13. При цьому

здійснюється контроль стійкості системи живлення за допомогою диференціюючого блока 1, що одержує інформацію через фазовимірювальний блок 11 від телеканалів зв'язку 12. Цей же блок впливає на вхід блока регулювання напруги 9 залежно від значення параметра, виміряного блоком 11. В приведеному способі регулювання напруги хоча і враховується залежність перетоку активної потужності від величини напруги, але відсутній ефективний регулювальний вплив системи на перетікання як активної так і реактивної потужності, оскільки при зазначеному способі регулюється лише коефіцієнт трансформації силового трансформатора.

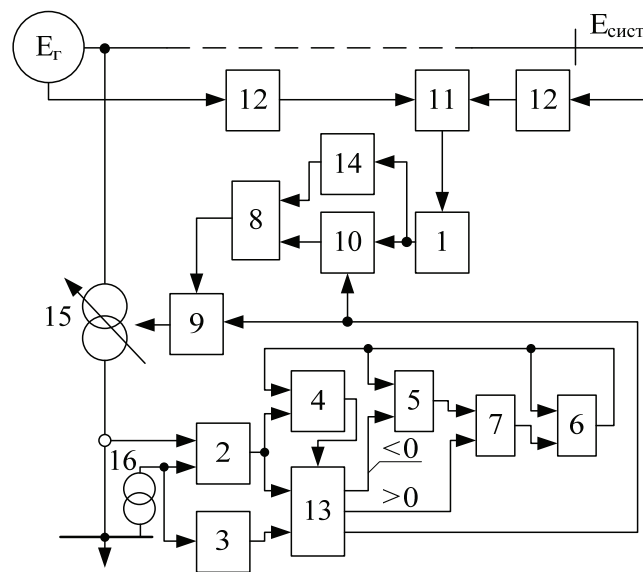


Рис. 1.3. Функціональна схема пристрою для регулювання напруги електричного вузла з двигунним навантаженням

В [25] запропоновано адаптивний пристрій для регулювання напруги, в якому ведеться пошук оптимального співвідношення між зоною нечутливості пристрою та витримкою часу на проведення перемикавання. В процесі пошуку оптимальних параметрів регулювання відбувається направлений перебір різних поєднань витримок часу і зони нечутливості (в межах заданих значень), що реалізує пошук оптимального регулювання напруги; за рахунок переходу від повного перебору всіх допустимих поєднань витримки часу і зони нечутливості до направленного перебору з контролем середньоквадратичного відхилення напруги. Зазначений пристрій суттєво поліпшує якість регулювання напруги, однак він адаптований до застосування на тягових підстанціях залізничного транспорту і не враховує струму навантаження споживачів, що виключає застосування зустрічного регулювання напруги, крім цього в

алгоритмі розглянутого пристрою вводиться обмеження на проведення перемикання при перевищенні заданої кількості перемикань за добу.

Відоме застосування ВДТ для вирішення задач пофазового регулювання напруги і виконання таким чином симетрування напруги [26]. Для реалізації такого способу розроблений пристрій, що містить ВДТ з первинною обмоткою, яка виконана по схемі «зустрічний зигзаг». Система керується пристроєм, що вимірює фазні значення напруги в лінії за допомогою АЦП, шляхом комутації схем вмикання первинної і вторинної обмоток проводить регулювання і симетрування напруги в лінії. Обмеженнями такого способу регулювання напруги є відсутність зворотніх зв'язків за потужністю, дорога та складна у виготовленні конструкція первинної обмотки ВДТ.

Відомий пристрій для регулювання напруги [27], в якому перемикання відгалужень на підвищення напруги у вузлах навантаження проводиться не одночасно, а із зсувом в часі, причому величина зсуву рівна часу перехідного процесу зміни потужності при відхиленні напруги. Розглянутий пристрій не містить каналу вимірювання реактивної потужності та не враховує втрат потужності в лінії електропередач.

Подібний до [28] пристрій з фазовимірювальним блоком визначення кута навантаження та введенням в закон регулювання приростом визначеного кута розроблений в [28], але структура його не забезпечує прямого управління перетоком потужності та впливу на коефіцієнт потужності.

Відомі пристрої [29, 30], що застосовуються для стабілізації змінної напруги, які можуть застосовуватися і в міських мережах електропостачання і мають виконавчий елемент, виконаний у вигляді ВДТ. Схема пристрою [29] представлена на рис. 1.4. На схемі: 1 – ВДТ з вторинною 2 та первинною 3 обмотками; 4, 26 – перший та другий тиристорні ключі; 6, 14 – перший та другий синхронізуючі трансформатори; 7, 16, 24, 25 – тиристори; 8, 17 – захисні діоди; 10, 19 – захисні резистори; 12, 21 – обмежуючі діоди; 15, 23 – струмо-обмежуючі резистори; 27 – блок управління; 28 – первинна обмотка другого синхронізуючого трансформатора. При значенні напруги більшій від заданої ключ 4 відкритий, а ключ 26 закритий, при цьому прикладається вхідна напруга до первинної обмотки ВДТ 1, чим забезпечується вольтовіднімання, якщо напруга стане меншою заданої, то тиристорний ключ 4 встановлюється в закритий стан, а первинна обмотка ВДТ 3 шунтується за допомогою ключа 26, керування яким здійснюється від блока керування 27.

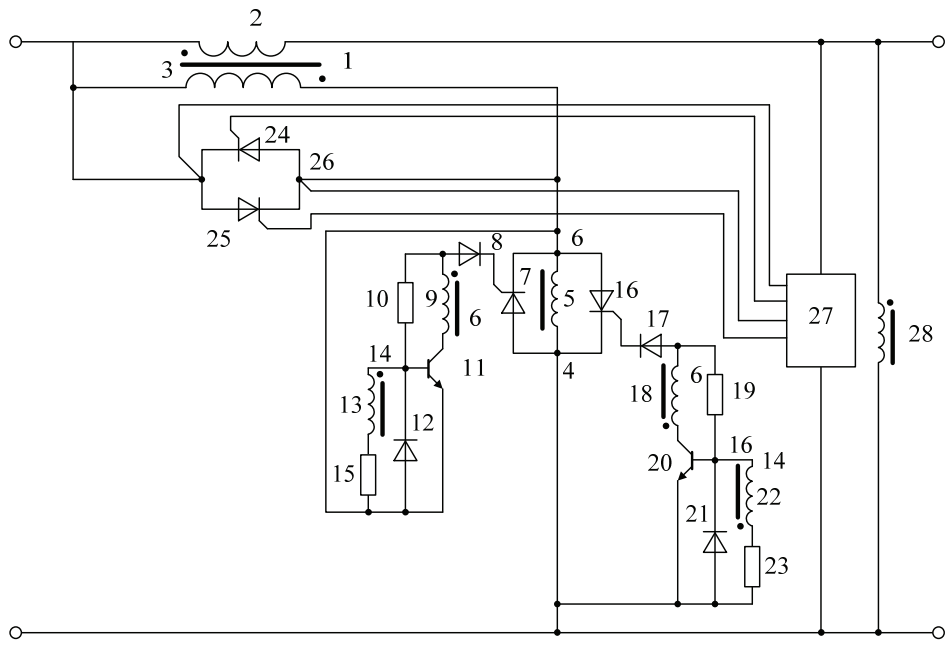


Рис. 1.4. Функціональна схема стабілізатора змінної напруги

Якщо напруга на виході пристрою має значення, що знаходиться в межах між номінальним і максимально допустимим значеннями, то тиристири ключа 26 вмикаються по чергово з кутом відкриття, що залежить від величини відхилення напруги від номінального значення, при цьому форма напруги має сходинково-синусоїдну форму, в чому полягає основний недолік розглянутого пристрою, оскільки при цьому він є джерелом вищих гармонік, які безпосередньо трансформуються в мережу.

Пристрій, розглянутий в [30], відрізняється від описаного взаємним розташуванням ключів, які керують комутацією первинної обмотки ВДТ. Ключ, що вмикає ВДТ на вольтовіднімання і увімкнений послідовно з первинною обмоткою, вмикається через блок управління, а ключ, який шунтує первинну обмотку ВДТ, вмикається через схему з синхронізуючими трансформаторами, яка тотожна до представленої на рис. 1.4.

Спосіб амплітудно-фазового регулювання напруги запропонований в [31]. При невеликих відхиленнях напруги в розглянутому пристрої здійснюється фазове управління напругою (тобто змінюється фаза вихідної напруги інвертора по відношенню до напруги мережі по сигналу від системи керування). Вихідна напруга інвертора, зменшуючись в ВДТ, накладається на напругу мережі, і збільшує напругу на виході стабілізатора до потрібного рівня. Такий пристрій не містить каналу вимірювання струму навантаження, а, отже, не забезпечить виконання зустрічного регулювання напруги.

Схожий спосіб автоматичної компенсації відхилень напруги розроблено в [32, 33]. Пристрій для реалізації цього способу відрізняється від попереднього наявністю двох інверторів, а також додаткового блока нелінійності з переналаджуваною передавальною функцією, що коректує роботу системи керування інверторами. Останній спосіб адаптований до застосування в мережах напругою до 10 кВ із включенням ВДТ в нейтраль обмотки ВН силового трансформатора. В схемі пристрою (рис 1.5) система регулювання включена між мережею 1 і навантаженням 2. Вона містить головний трансформатор 3 з первинною 4 і вторинною 5 обмотками, ВДТ 6 з первинною 7 і вторинною 8 обмотками, тиристорний перетворювач 9 з ланкою постійної напруги, до складу якої входять два трифазні інвертори напруги 10 і 11 із загальною для них системою керування 12, реверсивний випрямляч 13 з системою керування 14, фільтр 15, а також датчик напруги навантаження 16, датчик напруги мережі 17, перемикач 18 та регульований блок нелінійності 19. В цілому робота пристрою в розглянутій системі така ж, як і в [31].

Пристрій для стабілізації напруги, запропонований в [33], має два рівні заданої напруги та інше розташування вольтододадкового агрегату – не в нейтралі, а в розриві фази обмотки ВН головного трансформатора.

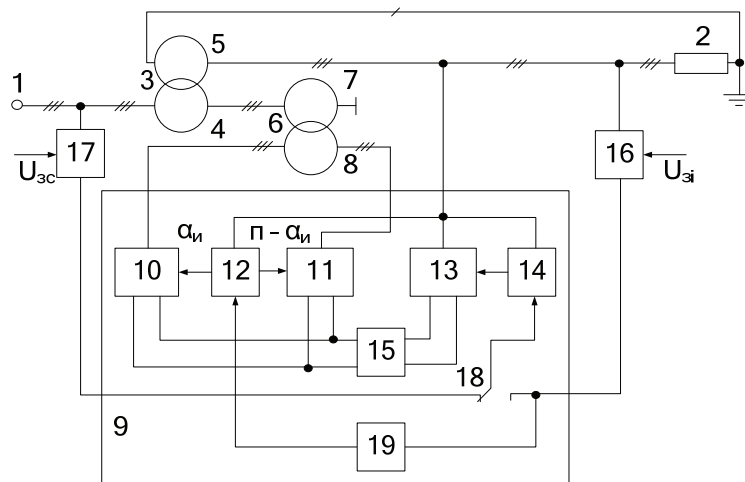


Рис. 1.5. Функціональна схема пристрою для стабілізації напруги з амплітудно-імпульсним регулюванням

Пристрій, який побудований за схожим принципом, але додатково містить канал вимірювання реактивної потужності, в залежності від якого здійснюється поперечне регулювання напруги одним ВДТ та окремий канал вимірювання напруги на навантаженні, в залежності від якого здійснюється поздовжнє регулювання напруги іншим ВДТ, розроблений в [34]. Схема пристрою показана на рис. 1.6. Пристрій містить виводи 1 і 2, трифазні ВДТ 3 і 4, батарею

1.2. Поздовжньо-поперечне регулювання напруги в системах електропостачання з контролем технічного та економічного ефекту

В [35] представлений спосіб управління режимом електропередачі з застосуванням вольтододаткового автотрансформатора. Функціональна схема такого пристрою показана на рис. 1.7. Схема складається з автотрансформатора зв'язку 1, лінійного трансформатора (ЛТ) 2 з його обмотками збудження 4 та вторинною 3, перемикача відгалужень автотрансформатора 5, додаткових перемикачів 6–9, шини відправного кінця повітряної ЛЕП 10, повітряної лінії 11, шини приймального кінця повітряної ЛЕП 12, перемикаючого пристрою РПН 13, регулятора напруги повітряної лінії 14, датчика напруги 15, датчика величини перетікання потужності 16, каналу телекерування 17. В такому пристрої для зміни напруги ЛЕП, сформованої у функції параметрів її навантаження, використовують регульовальний діапазон РПН автотрансформаторів для регулювання збудження ЛТ. Зміна збудження ЛТ проводиться перемиканням відгалужень регульовальної обмотки РПН трансформаторів. Регульовальний діапазон РПН використовується двічі: в процесі зміни коефіцієнта трансформації автотрансформатора і в процесі регулювання збудження ЛТ.

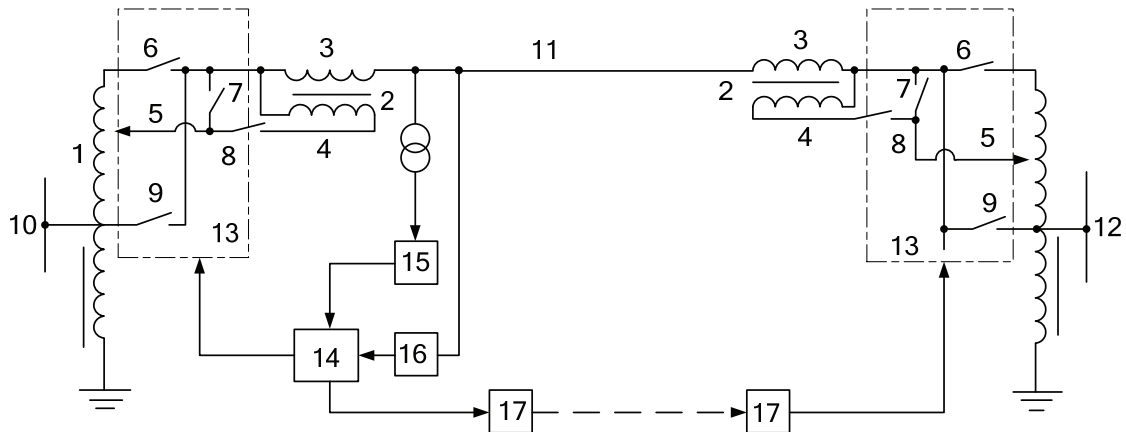


Рис. 1.7. Функціональна схема пристрою для управління режимом електропередачі

Обмеженням розглянутого пристрою є відсутність додаткових умов на проведення перемикання пристроїв РПН вольтододаткового автотрансформатора, що приводить до їх прискореного зношення.

Спосіб регулювання напруги, що містить один трансформатор ведений і два ведучі для збільшення точності регулювання напруги на

шинах трансформаторної підстанції, описаний в [36]. Пристрій, що реалізує цей спосіб, крім типового регулятора має елемент контролю початку і закінчення циклу перемикання ведучого трансформатора і блоки управління веденими. Реалізація такого пристрою пов'язана з додатковими затратами на ведені трансформатори, які мають більшу кількість відгалужень та відповідно менший інтервал між встановленими рівнями напруги на вторинних обмотках.

В способі регулювання напруги в лініях електропередачі [37] в якості умови проведення перемикання пристроєм РПН силового трансформатора приймається відношення приросту втрат потужності на корону до втрат потужності в проводах. Втрати потужності на корону визначають як добуток сигналу від датчика напруги на встановлений коефіцієнт, що характеризує швидкість зміни втрат потужності на корону від напруги лінії, а втрати потужності в проводах лінії одержують в блоці множення як добуток збільшеного шестеро опору фази лінії, з урахуванням сигналу датчика температури і квадрату сигналу датчика струму. Якщо сигнал, отриманий в блоці ділення і пороговому блоці від визначення відношення втрат потужності в проводах до втрат потужності на корону, більший одиниці, то за допомогою формувача формують сигнал на підвищення напруги, а якщо менший одиниці, то, за допомогою іншого формувача, – на пониження напруги. В розглянутому пристрої управляючий сигнал формується в пороговому блоці, який має уставку спрацьовування за величиною втрат активної потужності, а не напруги та струму, що суттєво знижує точність регулювання напруги, крім цього відсутні обмеження на формування вихідних сигналів при короткочасних відхиленнях напруги чи струму навантаження.

Пристрій для регулювання напруги описаний в [38], містить два канали зі збільшеною та зменшеною затримками сигналу на проведення перемикання пристроєм РПН, що дозволяє збільшити надійність системи регулювання напруги в цілому. При зміні напруги на шинах підстанції з боку навантаження регулятором проводиться перемикання відгалуження трансформатора з затримкою часу t_1 . Якщо відхилення напруги виявилось з боку мережі, то перемикання відбудеться із затримкою в t_2 , яке менше t_1 . Розглянутий пристрій не має ланцюгів управління перетоком реактивної потужності, а при компенсації відхилень напруги, викликаних зміною перетоку потужності, діапазон регулювання обмежений.

Спосіб регулювання напруги в лінії електропередачі, що розроблений в [39], передбачає визначення балансу втрат потужності в проводах до і після проведення перемикання. Згідно з застосуванням

вказаного способу визначаються баланси втрат потужності в лінії до і після кожного зменшення або збільшення напруги, з отриманих балансів втрат обчислюється фактичний активний опір лінії, а втрати в лінії для режиму після зміни напруги визначаються з обчисленого фактичного активного опору лінії. В блоках пам'яті пристрою, що реалізує спосіб [39], зберігаються значення постійних коефіцієнтів пропорційності, що характеризують зміну втрат потужності на нагрів і коронних втрат при зміні напруги на $n\%$, відповідну одному ступеню регулювального пристрою. Застосування такого пристрою обмежене і має місце лише для повітряних ліній електропередач.

В [40] розроблено структуру системи автоматичного регулювання напруги з врахуванням чутливості збитків від неякісної електроенергії по відхиленню напруги в центрі живлення мережі. Обмеженням такої системи, як і попередньої, є відсутність зворотних зв'язків за реактивною потужністю.

Відомий пристрій [41], що використовується для регулювання напруги в цехових мережах і системах електропостачання з низьким коефіцієнтом потужності. Функціональна схема пристрою показана на рис. 1.8.

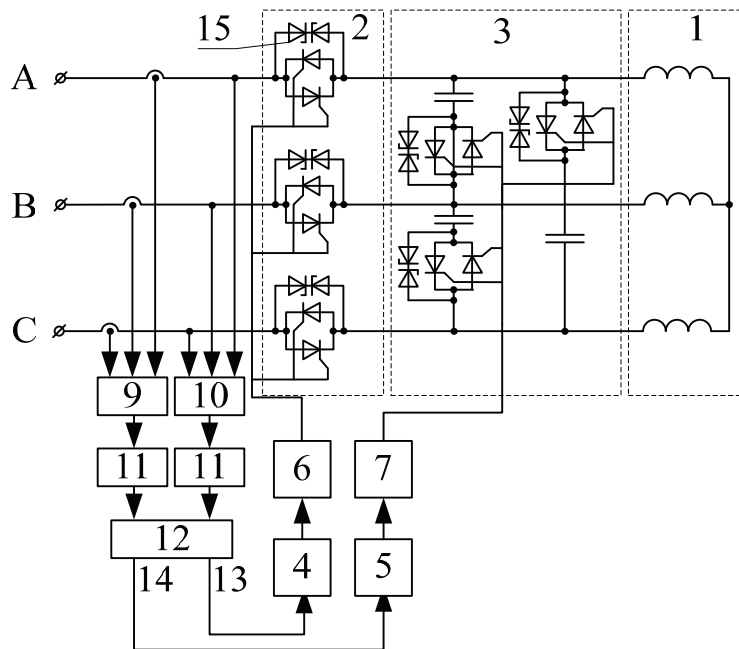


Рис. 1.8. Функціональна схема регулятора напруги

Регулятор напруги містить реактивне навантаження (індукційна піч, трансформатор) 1, керований вентиль 2 з двосторонньою провідністю, вентиль 3, паралельний реактивному навантаженню, регулятори 4 і 5 шпаруватості імпульсів (одновібратори), формувачі імпульсів 6 і 7 (генератори Ройера) і датчик фазового зсуву напруги і

струму 8 на вході регулятора напруги. До складу датчика 8 входять датчик напруги 9, датчик струму 10, операційні підсилювачі 11 і логічний елемент І-НЕ 12, для усунення короткочасних піків комутаційних напруг вентилі шунтовані зустрічно включеними стабілітронами 15. Згідно з логікою перемикавання вентилів 2 і 3, коли збігаються знаки напруги і струму включаються вентилі 2, а вентилі 3 відключені, і навпаки, в знакозмінні інтервали вентилі 2 відключаються, а включаються вентилі 3. В результаті змінюється контур протікання реактивного струму навантаження і реактивної потужності з фази на фазу за допомогою паралельних вентилів 3 для багатофазних реактивних навантажень. Обмеженням пристрою є ускладнення його використання в розподільчих мережах через складну конструкцію вентилів та генерація вищих гармонік в мережу, що викликана комутацією вентилів.

В пристрої, який розроблений в [42], регулювання напруги проводиться з урахуванням місця концентрації втрат в лінії на корону і незалежної зміни напруги на підстанції (що викликана випадковим характером навантаження). Пристрій складається з вимірювачів фазних втрат на корону, вимірювачів фазних втрат на нагрів проводів лінії, суматорів, що підсумовують фазні втрати на корону і фазні втрати на нагрів проводів, перетворювачів, пристрою множення, пристроїв обробки інформації та виконавчих механізмів, які знижують або підвищують напругу в лінії на цій підстанції. В такому пристрої відсутній зворотний зв'язок за реактивною потужністю та ефективний спосіб врахування втрат активної потужності в лінії від передачі останньої, тому динамічні властивості такої системи при роботі з змінним за характером навантаженням будуть погіршені.

Схожий до вищевказаного за структурою та задачами пристрій розроблений в [43], однак в ньому враховується величина втрат, що викликані перетіканням як активної так і реактивної потужності. Суть його роботи полягає в тому, що у разі перевищення приросту потужності втрат на корону над приростом потужності втрат в лінії на величину сигналу, сформованого в перетворювачі, через відповідний вентиль подається сигнал, що впливає на виконавчий механізм, що знижує напругу в лінії на один ступінь, в результаті зниження напруги втрати на корону зменшуються, а втрати в проводах лінії збільшуються. Вихідний сигнал в розглянутому пристрої на проведення перемикавання пристроєм РПН формується безпосередньо при виході втрат потужності за встановлені межі навіть при короткочасному відхиленні, що приводить до зниження стійкості та надійності системи регулювання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения : ГОСТ 13109-97 — ГОСТ 13109-97. — [Введ. 1999—01—01]. — М. : Изд-во стандартов, 1998. — 33 с. — (Межгосударственный стандарт).
2. Карташев Илья Ильич. Управление качеством электрической энергии : монографическое издание / И. И. Карташев, В. Н. Тульс. — М. : МЭИ, 2005. — 320 с. — ISBN 5-7046-1283-0.
3. Воротницкий Валерий Эдуардович. Повышение эффективности управления распределительными сетями [Электронный ресурс] / В. Э. Воротницкий. // Энергосбережение. 2005. — № 10. — Режим доступа до журн. : http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3046
4. Mogos E. F. A voltage regulation system for distributed generation / E. F. Mogos, X. Guillaud : Lab. d'Electrotechnique et d'Electronique de Puissance de Lille, France. — IEEE : Power Systems Conference and Exposition, 10-13 Oct. 2004. — P. 787 – 794. — ISBN 0-7803-8718-X.
5. Герасименко Алексей Алексеевич. Передача и распределение электрической энергии : учеб. пособие / А. А. Герасименко, В. Т. Федин. — Ростов-на-Дону : Феникс, 2008. — 720 с. — ISBN 978-5-222-13221-0.
6. Электротехнический справочник : в 4 т. / под ред. Герасимова В. Г. .— М. : Изд-во МЭИ, 2004. — Т. 1. Общие вопросы. Электротехнические материалы . — 448 с. — ISBN 978-5-383-00082-3.
7. Положение о технической политике в распределительном электросетевом комплексе / [Приложение к Приказу ОАО «МРСК Центра и Северного Кавказа» от 14.11.2006 № 228]. — М. : ОАО «РОСЭП», 2006. — 73 с. — (Нормативні директивні правові документи).
8. Лежнюк Петро Дем'янович. Оптимальне керування потоками потужності і напругою в неоднорідних електричних мережах : монографія / П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. — 188 с. — ISBN 966-641-083-4.
9. Визначення технічних значень вхідної реактивної потужності для споживачів електроенергії / Б. С. Рогальський, Л. Н. Добровольська, О. М. Нанака, В. В. Вержук // Вісник ВПІ. — 2007. — № 5. — С. 58–64.
10. Прогнозування якості функціонування пристроїв регулювання під напругою трансформаторів в умовах нечітких результатів

випробовувань / Ю. О. Карпов, П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, М. І. Пірїжок // Вісник ВПІ. — 2007. — № 2. — С. 61–65.

11. Идельчик Виталий Исаакович. Электрические системы и сети / В. И. Идельчик. — М. : Энергоатомиздат, 1989. — 592 с. — ISBN 5-283-01012-0.

12. Лыкин Анатолий Владимирович. Электрические системы и сети : учеб. пособие для межвуз. использования по специальности 551700 / А. В. Лыкин. — Новосибирск. : Изд-во НГТУ, 2003. — 246 с. — ISBN 5-7782-0383-7.

13. Веников Валентин Андреевич. Регулирование напряжения в электроэнергетических системах / В. А. Веников, В. И. Идельчик, М. С. Лисеев. — М. : Энергоатомиздат, 1985. — 216 с.

14. Грабко Володимир Віталійович. Моделі і засоби регулювання напруги за допомогою трансформаторів з пристроями РПН : монографія / В. В. Грабко. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. — 109 с. — ISBN 966-641-115-6.

15. Testa Alfredo. Regolazione della tensione in cabine MT/BT in presenza di carichi non omotetici / Alfredo Testa, Giuseppe CURCIO, Daniele Menniti // Energ. elett. — 1993. — № 10. — P. 416–422.

16. Рэнси Роберт. Трансформаторы с переключением под нагрузкой / Рэнси Р. // Мировая энергетика. — 1996. — № 4. — С. 27—33.

17. Порудоминский Виктор Владимирович. Устройства переключения трансформаторов под нагрузкой / В. В. Порудоминский. — М. : Энергия, 1974. — 288 с.

18. Пат. 44616А Україна, МПК⁷ Н 01 F 29/04, Н 01 Н 19/12. Трифазний перемикач відгалужень обмоток трансформатора під навантаженням / Вайнштейн А. Л., Ангоріна Р. А., Андросов М. Ф., Синицина Т. М.; ВАТ "Український наук.-досл. проектно-конструк. та технол. інститут трансформаторобудування". — № 2001064055; Заявл. 13.06.2001; Опубл. 15.02.2002.

19. Пат. 27824 Україна, МПК⁷ Н 01 F 29/02, Н 01 Н 9/00. Перемикач ступенів обмоток трансформатора : Пат. 27824 Україна / Дохнальд Д., Неймер Д., Альбрехт В., Клос Г., Лаутерволд Р., Лісманн-Міске Х.; Машинен фабрик рейнхаузен Гмбх.. — № 94005451; Заявл. 06.05.93; Опубл. 16.10.2000.

20. Электротехнический справочник : [в 4 т.] / под ред. Герасимова В. Г. . — М. : Изд-во МЭИ, 2004. — Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии . — 963 с. — ISBN 5-7046-0987-2.

21. Інструкція по експлуатації трансформатора поперечного регулювання (ТПР) типу ОДЦТНП-92000/150. — Вінниця : Націо-

нальна енергетична компанія «Укренерго». Південно-Західна електроенергетична система, 2004 — 11 с. — (Нормативний документ НЕК «Укренерго». Інструкція)

22. Пат. 33486 С2 України, МПК⁸ Н 02 М 5/00, G 05 F 1/24. Пристрій регулювання змінної напруги / Ю. Л. Коротецький.; заявник і патентоутримувач Ю. Л. Коротецький. — № 99021133; заявл. 26.02.1999; опубл. 17.02.2003, Бюл. № 2-2003.

23. А.с. 1310948 СССР, МКИ⁵ Н 02 J 3/12. Устройство для одноступенчатого регулирования напряжения / Г. К. Вишняков, И. С. Давыдов и Л. Н. Шифрин (СССР). — № 3493189/24-07; заявл. 23.09.82; опубл. 15.05.87, Бюл. № 18.

24. А.с. 1669044 СССР, МКИ⁵ Н 02 J 3/12. Устройство для автоматического регулирования напряжения электрического узла, имеющего двигательную нагрузку / В. В. Прокопчик и В. А. Белоусов (СССР). — № 4695569/07; заявл. 15.03.89; опубл. 07.08.91, Бюл. № 29.

25. Пат. 2055440 Российская Федерация, МПК Н02J3/12. Адаптивный регулятор напряжения. / Герман Л. А., Сухов М. Ю.; заявитель и патентообладатель Герман Л. А. и Сухов М. Ю.. — № 5063912/07; Заявл. 05.10.92; Опубл. 27.02.96, Бюл. № 11/2002

26. Пат. 2006129 Российская Федерация, МПК⁵ Н 02 J 3/26. Устройство для регулирования и симметрирования напряжения в трехфазной сети с нулевым проводом / Игнайкин А. И.; заявитель и патентообладатель Вологодский политехнический институт. — № 4904205/07; заявл. 10.12.90; опубл. 15.01.94.

27. А.с. 1370699 СССР, МКИ⁴ Н 02 J 3/12. Устройство для регулирования напряжения узла нагрузки электрической сети / В. Г. Панин, Ф. Н. Рассказов, М. А. Шишков (СССР). — № 4091026/24-07; заявл. 20.05.86; опубл. 30.01.88, Бюл. № 4.

28. А.с. 1330699 СССР, МКИ⁴ Н 02 J 3/12. Устройство для автоматического регулирования напряжения узла нагрузки электрической сети / Н. Ф. Галимов, Ф. Н. Рассказов, М. А. Шишков. (СССР). — № 4018895/24-07; заявл. 11.02.86; опубл. 15.08.87, Бюл. № 30.

29. Пат. 15174 Україна, МПК⁷ G 05 F 1/30. Стабілізатор змінної напруги / Говоров П. П., Папко М. А., Гаряжа В. М.; заявник та патентоутримувач Харківська державна академія міського господарства. — № 95041915; заявл. 25.04.95; опубл. 30.06.97, Бюл. № 3.

30. Пат. 15343 Україна, МПК⁷ G 05 F 1/30. Стабілізатор змінної напруги / Говоров П. П., Папко М. А., Гаряжа В. М.; заявник та патентоутримувач Харківська державна академія міського господарства. — № 95041913; заявл. 25.04.95; опубл. 30.06.97, Бюл. № 3.

31. Пат. 2074494 Российская Федерация, МПК⁶ Н 02 М 5/257, G 05 F 1/26. Способ управления стабилизатором трехфазного синусоидального напряжения / Клиماش В. С.; заявитель и патентообладатель Клиماش В. С., Комсомольский-на-Амуре политехнический институт. — № 94023356/07; заявл. 17.06.94; опубл. 27.02.97, Бюл. № 32-2001.

32. Пат. 2188491 Российская Федерация, МПК⁷ Н 02 J 3/12, G 05 F 1/30, Н 02 М 5/45. Система автоматической компенсации отклонений напряжения трансформаторной подстанции с амплитудно-импульсным регулированием / Клиماش В. С.; заявитель и патентообладатель Комсомольский-на-Амуре политехнический институт. — № 2000130843/09; заявл. 08.12.2000; опубл. 27.08.2002, Бюл. № 32-2001.

33. Пат. 2117981 Российская Федерация, МПК⁶ G 05 F 1/30, Н 02 М 5/45. Устройство для стабилизации напряжения трансформаторной подстанции / Клиماش В. С.; заявитель и патентообладатель Клиماش В. С., Комсомольский-на-Амуре политехнический институт. — № 96107428/09; заявл. 16.04.96; опубл. 20.08.98, Бюл. № 33-2002.

34. Пат. 2158953 Российская Федерация, МПК⁷ G 05 F 1/30, Н 02 J 3/18. Трансформаторно-тиристорный компенсатор отклонений напряжения и реактивной мощности / Клиماش В. С. Симоненко И. Г.; заявитель и патентообладатель Комсомольский-на-Амуре политехнический институт. — № 99113149/09; заявл. 16.06.99; опубл. 10.11.2000, Бюл. № 34-2002.

35. Пат. 2025019 Российская Федерация, МПК⁵ Н 02 J 3/06, Н 02 J 3/12. Способ управления режимом электропередачи / Каленик В. А.; Заявитель и патентообладатель Каленик В. А. — № 5046891/07; заявл. 09.06.1992; опубл. 15.12.1994, Бюл. № 27/2000.

36. А.с. 1032522 СССР, МКИ⁵ Н 02 J 3/12. Устройство для автоматического регулирования напряжения на шинах подстанции / Ю. В. Артемьев, В. М. Коршунов (СССР). — № 3377393/24-07; заявл. 07.01.82; опубл. 30.07.83, Бюл. № 28.

37. А.с. 1677773 СССР, МКИ⁵ Н 02 J 3/12. Способ регулирования напряжения в линии электропередачи / М. А. Козелькевич, А. Г. Снежко, Ю. В. Щербина (СССР). — № 4398358/07; заявл. 28.03.88; опубл. 15.09.91, Бюл. № 34.

38. А.с. 1757014 СССР, МКИ⁵ Н 02 J 3/12. Устройство для регулирования напряжения / Л. А. Герман, М. Ю. Сухов (СССР). — № 4838483/07; заявл. 12.06.90; опубл. 23.08.92, Бюл. № 31.

39. А.с. 1339743 СССР, МКИ⁴ Н 02 J 3/12. Способ регулирования напряжения в линии электропередачи / А. Б. Баламетов, Ю. И. Лысков О. С. Мамедяров (СССР). — № 3870070/24-07; заявл. 20.03.85; опубл. 23.09.87, Бюл. № 35.

40. А.с. 1312676 СССР, МКИ⁴ Н 02 J 3/12. Устройство для автоматического регулирования напряжения узла электрической сети / С. П. Гнипа и Ф. Н. Рассказов (СССР). — № 3864626/31-07; заявл. 11.03.85; опубл. 23.05.87, Бюл. № 19.

41. А.с. 1372464 СССР, МКИ⁴ Н 02 J 3/12 Н 02 М 5/257. Регулятор напряжения / В. Д. Дудышев, В. М. Нестеренко, М. М. Левинсон, О. Н. Катаев (СССР). — № 3908746/24-07; заявл. 11.06.85; опубл. 07.02.88, Бюл. № 5.

42. А.с. 1417102 СССР, МКИ⁴ Н 02 J 3/12. Способ регулирования напряжения в линии электропередачи / М. М. Зицер (СССР). — № 4177833/24-07; заявл. 09.01.87; опубл. 15.08.88, Бюл. № 30.

43. А.с. 1427479 СССР, МКИ⁴ Н 02 J 3/12. Устройство для регулирования напряжения в линии электропередачи / Е. В. Калентионок, Т. Н. Стрелова (СССР). — № 4140206/24-07; заявл. 01.09.86; опубл. 30.09.88, Бюл. № 36.

44. Пат. 2113753 Российская Федерация, МПК⁶ Н02J3/12, Н02J3/18, Н02М5/257. Способ стабилизации и регулирования параметров электроэнергии в трехфазных электросетях и устройство для его осуществления / Туманов И. М., Алтунин Б. Ю., Блинов И. В., Корженков М. Г., Ким А. К., Шетинин О. В.; заявитель и патентообладатель Нижегородский государственный технический университет. — № 96119241/28; заявл. 25.09.96; опубл. 20.06.98, Бюл. № 30/2004.

45. Декларацийний патент 36875 А Україна, МПК⁷ G05F1/22, Н02J3/12. Пристрій регулювання змінної напруги / Савченко П. І., Трунова І. М.; заявник та патентоутримувач Савченко П. І., Трунова І. М. — № 2000020925; заявл. 18.02.2000; опубл. 16.04.2001, Бюл. № 3-2001.

46. Пат. 2006127 Российская Федерация, МПК⁷ Н 02 J 3/12, Н 02 J 3/18. Устройство для регулирования напряжения и реактивной мощности / Козурман И. А.; Заявитель и патентообладатель Козурман И. А. — № 5002647/07; заявл. 16.09.91; опубл. 15.01.94, Бюл. № 28/2000.

47. А.с. 1661909 СССР, МКИ⁵ Н 02 J 3/12. Устройство для регулирования напряжения в линии электропередачи / Л. М. Анисимова, Г. А. Славин и Л. В. Шорина (СССР). — № 4440895/07; заявл. 15.04.88; опубл. 07.07.91, Бюл. № 25.

48. А.с. 1582275 СССР, МКИ⁵ Н 02 J 3/12, Н 02 J 3/18. Устройство для стабилизации напряжения в электрических системах / Я. Н. Герий, В. А. Кулинич и В. Р. Липовецкий (СССР). — № 4603740/24-07; заявл. 28.09.88; опубл. 30.07.90, Бюл. № 28.

49. А.с. 1698929 СССР, МКИ⁵ Н 02 J 3/06. Электрическая сеть / П. Ф. Гоголюк, А. А. Малиновский и Я. М. Коваль (СССР). — № 4603144/07; заявл. 09.11.88; опубл. 15.12.91, Бюл. № 46.
50. А.с. 1677774 СССР, МКИ⁵ Н 02 J 3/18. Устройство продольно-поперечного регулирования напряжения сети / К. А. Ананьев, О. В. Иванов, А. В. Гвоздев, Б. П. Коновалов, М. М. Малюшицкий, И. И. Столяров и С. В. Трухалева (СССР). — № 4729517/07; заявл. 18.08.89; опубл. 15.09.91, Бюл. № 34.
51. А.с. 1721704 СССР, МКИ⁵ Н 02 J 3/12. Устройство для автоматического регулирования режимов реактивной мощности узла нагрузки / Б. Н. Абрамович, К. А. Ананьев, Ю. В. Коновалов, В. Я. Чаронов, В. В. Гребнев, Е. М. Проскураков, Э. А. Тамаркин. — № 4641048/07; заявл. 25.01.89; опубл. 23.03.92, Бюл. № 11.
52. Пат. 2097824 Российская Федерация, МПК⁶ G05F1/70. Регулятор реактивной мощности / Щербаков Е. Ф.; Петров В. М.; Карпов И. О.; заявитель и патентообладатель Ульяновский государственный технический университет. — № 93012694/07; заявл. 09.03.93; опубл. 27.11.97, Бюл. № 11/2002.
53. А.с. 1573502 СССР, МКИ⁵ Н 02 J 3/18. Способ регулирования статического компенсирующего устройства / Д. Л. Балыбердин, Т. А. Гущина, А. С. Зеккель, В. А. Шлайфштейн (СССР). — № 4390607/24-07; заявл. 14.01.88; опубл. 23.06.90, Бюл. № 23.
54. А.с. 1325620 СССР, МКИ⁴ Н 02 J 3/12. Устройство для управления режимом электрической подстанции / А. Д. Веселов, С. Н. Макаровский, Л. В. Росман (СССР). — № 3960035/24-07; заявл. 08.10.85; опубл. 23.07.87, Бюл. № 27.
55. А.с. 1293789 СССР, МКИ⁴ Н 02 J 3/12. Устройство для управления режимом электрической подстанции / А. Д. Веселов, С. Н. Макаровский, Л. В. Росман (СССР). — № 3960035/24-07; заявл. 17.06.85; опубл. 28.02.87, Бюл. № 8.
56. А.с. 974497 СССР, МКИ⁵ Н 02 J 3/12. Устройство для автоматического регулирования напряжения линии электропередачи / В. М. Зубко, С. М. Рожавский и М. И. Гончар (СССР). — № 2910340/24-07; заявл. 15.04.80; опубл. 15.11.82, Бюл. № 42.
57. А.с. 1415322 СССР, МКИ⁴ Н 02 J 3/12. Устройство для регулирования режимов работы трансформаторов связи / Я. Д. Баркан и В. И. Денщиков (СССР). — № 4141993; заявл. 15.09.86; опубл. 15.02.88, Бюл. № 6.
58. А.с. 1439702 СССР, МКИ⁴ Н 02 J 3/12. Способ регулирования напряжений в электрической системе / А. Й. Тамазов (СССР). — № 4153532/24-07; заявл. 01.12.86; опубл. 23.11.88, Бюл. № 43.

59. Пат. 2-41266 Япония, МКИ⁴ Н 02 J 3/12. Устройство для компенсации падения напряжения в электрической линии / К. К. Тосиба (Япония). — № 56-204767; заявл. 18.12.81; опубл. 25.06.83, Бюл. № 2-1032.

60. Пат. 1-50176 Япония, МКИ⁴ Н 02 J 3/12. Устройство для автоматического регулирования напряжения / Мицубиси Денки К. К. (Япония). — № 56-84145; заявл. 29.05.81; опубл. 07.12.82, Бюл. № 1-1255.

61. Пат. 1-50177 Япония, МКИ⁴ Н 02 J 3/12. Устройство для автоматического регулирования напряжения / Мицубиси Денки К. К.; (Япония). — № 56-84146; заявл. 29.05.81; опубл. 07.12.82, Бюл. № 7-1255.

62. Про затвердження Методики обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії : Наказ № 19 Мінпаливенерго України від 17.01.2002, реєстр. № 93/6381 Мінюсту України від 01.02.2002 / Методика обчислення плати за перетікання реактивної енергії між електропередавальною організацією та її споживачами [Електронний ресурс]. — Режим доступу до наказу :<http://www.doe.dp.ua/load/4.htm>

63. Холмский Василий Григорьевич. Расчет и оптимизация режимов электрических сетей (специальные вопросы) / В. Г. Холмский — М. : Высшая школа, 1975. — 280 с.

64. Баркан Яков Давидович. Автоматизация энергосистем / Я. Д. Баркан, Л. А. Орехов. — М. : Высшая школа, 1981. — 271 с.

65. Овчаренко Николай Ильич. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем / Н. И. Овчаренко [под ред. А. Ф. Дьякова] — М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2000. — 504 с. ISBN 5-93196-020-1.

66. Грабко В. В. Аналіз та моделювання впливу поперечного регулювання напруги на споживання реактивної потужності в розподільчих мережах / Володимир Віталійович Грабко, Сергій Михайлович Левицький // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. — 2007. — № 3/(44). — Ч.2. — С. 122—125.

67. Информационный лист. Установка на коммутационных аппаратах автоматического секционирования в сети 6–20 кВ универсальных устройств релейной защиты и автоматики / ред. В. Н. Шварцберг — Рига : ЛатНИИНТИ. — 1983. — № 83-291. — Серия 44.29.37. — 3 с.

68. Мокин Борис Иванович. Автоматические регуляторы в электрических сетях / Б. И. Мокин, Ю. Ф. Выговский. — К. : Техника, 1985. — 104 с.

69. Грабко В. В. До питання підвищення якості напруги в електричних мережах / Володимир Віталійович Грабко, Ілля Юрійович Львов // Сучасні інформаційні та енергозберігаючі технології життєзабезпечення людини. — 1999. — № 6. — С. 94—96.

70. Грабко Володимир Віталійович. Синтез закону регулювання напруги в електричній мережі в умовах оптимального споживання реактивної потужності / В. В. Грабко, С. М. Левицький, М. П. Свиридов // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2007. — № 2. — С. 34 — 37.

71. Захаров Валерий Николаевич. Автоматы с распределенной памятью / В. Н. Захаров. — М. : Энергия, 1975. — 136 с.

72. Захаров Валерий Николаевич. Системы управления. Зада-ние. Проектирование. Реализация / В. Н. Захаров, А. Д. Поспелов, В. Е. Хазацкий. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Энергия, 1977. — 424 с.

73. Поспелов Дмитрий Александрович. Логические методы анализа и синтез схем / Д. А. Поспелов. — М. : Энергия. — 1974. — 368 с.

74. Шило Валерий Леонидович. Популярные цифровые микросхемы : справочник / В. Л. Шило. — М. : Радио и связь, 1987. — 352 с. — ISBN 5-229-00602-1.

75. Интегральные микросхемы : справочник / Тарабрин Б. В., Лунин Л. Ф., Смирнов Ю. Н. [и др.]; под ред. Б. В. Тарабрина. — 2-е изд. — М. : Радио и связь, 1985. — 528 с. — ISBN 978-5-94120-106-8.

76. Левицький С. М. Синтез структури регулятора напруги в системах з обмеженим споживанням реактивної потужності / С. М. Левицький // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. — 2008. — № 4 (51), Част. 2. — С. 53—56.

77. Хоровиц Пауль. Искусство схемотехники : [в 2-х томах.] / Пауль Хоровиц, Уинфилд Хилл ; пер. с англ. О. Л. Соболевой. — М. : Мир, 1998. — Т. 1. — 598 с.

78. Грабко Володимир Віталійович. Система регулювання напруги електричної мережі за умови обмеженого споживання реактивної енергії / В. В. Грабко, С. М. Левицький // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки). Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія й практика». — 2007. — С. 536—538.

79. Пат. 32171 Україна. Регулятор напруги в умовах обмеженого споживання реактивної енергії : Пат. 32171 Україна, МПК (2006) H 02 J 3/12 / В. В. Грабко, С. М. Левицький ; заявник та патентоутримувач Вінницький національний технічний універ-

ситет. — № U 2007 13798 ; Заявл.10.12.2007 ; Оpubл. 12.05.2008, Бюл. № 9.

80. Востриков Анатолий Сергеевич. Теория систем автоматического регулирования : учеб. пособие для вузов / А. С. Востриков, Г. А. Французова. — М. : Высшая школа, 2006. — 365 с. — ISBN 5-06-004686-9.

81. Бугров Яков Степанович. Высшая математика : учеб. для вузов : [в 3 т.] / Я. С. Бугров, С. М. Никольский ; под ред. В. А. Садовниченко. — Изд. 7-е, стер. — М. : Дрофа, 2005. — Т. 2. — 512 с. — ISBN 5-7107-9845-2.

82. Демирчян Камо Серопович. Теоретические основы электротехники : учеб. пособие для электротехн., энерг. и приборостроит. спец. вузов : [в 3 т.] / К. С. Демирчян, Л. Р. Нейман, Н. В. Коровкин, В. Л. Чечурин. — СПб. : Питер, 2004.— Т. 2. — 576 с. — ISBN 5-94723-513-7.

83. Юхимчук Сергей Васильевич. Автоматизация проектирования систем автоматического управления : учеб. пособие для студ. вузов / С. В. Юхимчук, В. Н. Лысогор, В. Ю. Марущак. — К. : УМВО, 1989. — 172 с.

84. Михайлов Виталий Степанович. Теория управления : учеб. пособие для студ. вузов / В. С. Михайлов. — К. : Выща школа, Головное изд-во, 1988. — 312 с. — ISBN 5-11-001791-3.

85. Левицкий С. М. Комп'ютерне моделювання системи регулювання напруги в умовах дефіциту реактивної потужності / С. М. Левицкий // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2007. — № 6. — С. 80—83

86. Черных Илья Викторович. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink / И. В. Черных. — СПб. : Питер, 2008. — 288 с. — ISBN 5-94074-395-1.

87. Поршнеv Сергей Владимирович. MATLAB 7. Основы работы и программирования / С. В. Поршнеv. — М. : Биноm-Пресс, 2006. — 320 с. — ISBN 5-9518-0137-0.

88. Дьяконов Владимир Павлович. Matlab R2006/2007/2008. Simulink 5/6/7. Основы применения / В. П. Дьяконов. — М. : Солон-Пресс, 2008. — 800 с. — ISBN 978-5-91359-042-8.

89. Лагутин Валерий Михайлович. Контроль положения переключающих устройств трансформаторов в системе автоматического регулирования напряжения / В. М. Лагутин, П. Д. Лежнюк, И. М. Котенко // Устройства преобразования информации для контроля и управления в энергетике : Тезисы докладов 3 Республиканской научно-технической конференции. — Харьков, 1988. — С. 218—219.

90. Tećec Zlatka. Some Issues of Microprocessor-based Power System Stabilizer Implementation / Z. Tećec, V. Ćesić, I. Petrović; KONČAR Electrical Engineering Institute, Zagreb, Croatia // 15th Mediterranean Conference on Control & Automation. — Athens, Greece : July 27–29; 2007. — T11-004. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа до каталогу : <http://med.ee.nd.edu/MED15-2007/papers/T11-004-371.pdf>.

91. Интеллектуальное реле Zelio Logic. Аналоговые преобразователи Zelio Analog. — Каталог продукции Schneider Electric / Telemecanique [Электронный ресурс] . — ZELIOLOGIC2CATRU . — 05/2007. — 72 с. — Режим доступа до каталогу : http://www.schneider-electric.ru/catalog.aspx?ob_no=3223&d_no=3254

92. Интеллектуальное реле Zelio Logic 2. Руководство пользователя. — Schneider Electric. — Telemecanique. — SR1MAN01RU 3500714300 — 01/2004. — 151 с.

93. Левицкий С. М. Мікропроцесорний двоканальний регулятор напруги на базі контролера Zelio Logic / С. М. Левицкий // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. — 2008. — № 1 (11). — С. 150—153.

94. Трансформатори напруги. Загальні технічні умови : ДСТУ ГОСТ 1983-2003. — [на заміну ГОСТ 1983-89] . — [Чинний від 01.07.2003]. — К. : Держстандарт України, 2002. — 39 с.

95. Трансформатори струму. Загальні технічні умови : ДСТУ ГОСТ 7746-2003 — ДСТУ ГОСТ 7746-2003. — [Чинний від 2003—01—07]. — К. : Держстандарт України, 2002. — 39 с. — (Національні стандарти України).

96. Влияние погрешностей трансформаторов тока и напряжения на коммерческие потери в энергосистемах. [Электронный ресурс] / А. Б. Лоскутов, Е. Б. Солнцев, И. В. Озеров. — Нижегородский региональный центр энергосбережения при НГТУ. — 1999. — № 1. — Режим доступа до журн. : http://www.nice.nnov.ru/Ru/literat/J1_99/LoskUto1.htm.

97. Пат. 2276457 Российская Федерация, МПК⁷ Н 03 М1/62 . Аналого-цифровой преобразователь / Баженов В. И., Горбатенков Н. И., Федулов Н. П., Хомякова Л. В. ; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "Раменское приборостроительное конструкторское бюро". — № 2004120732/09; заявл. 08.07.2004; опубл. 10.05.2006. Бюл. № 13/2006.

98. Пат. 2163381 Российская Федерация, МПК⁷ G 01 R19/02 . Способ измерения эффективного значения переменного напряжения (варианты) / Казаков М. К., Тарасов А. А., Хисамова Л. И.; заявитель и патентообладатель Ульяновский государственный технический

университет. — № 99114873/09; заявл. 09.07.1999; опубл. 20.02.2001. Бюл. № 02/2003.

99. Pat. US7489122 United States (USA), G 01 R31/02 . Method and device for measuring voltage / Andreas Jurisch (Schwante, DE); possessor Siemens Aktiengesellschaft (Munich, DE). — № 10/573-541; declared 16.09.2004; published 07.04.2005. Bulletin № 02/2003.

100. Преобразователь переменного напряжения ПНС-2. Руководство по эксплуатации. — ПРМК.426442.010 РЭ, — Украина, г. Ивано-Франковск, 2007. — 22 с.

101. Преобразователь переменного тока ПНС-3. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. — ПРМК.421457.018 РЭ, — Украина, г. Ивано-Франковск, 2002. — 12 с.

102. Преобразователи переменного напряжения и тока ТПТ. [Электронный ресурс]. — Режим доступа до каталогу : http://www.vertesz.ru/ТПТ_doc.files/ТПТ_Rus.pDI.

103. Преобразователи переменного напряжения и тока ЕПЗ4. [Электронный ресурс]. — Режим доступа до каталогу : http://www.ksrv.ru/catalog/cheb_ep34.pDI.

104. Преобразователи измерительные активной мощности ЭП8509, реактивной мощности ЭП8520, активной и реактивной мощности ЭП8530. [Электронный ресурс]. — Режим доступа до каталогу : http://energosila.ru/catalog/section.php?SECTION_ID=166.

105. Приборы и преобразователи измерительные цифровые напряжения, тока, сопротивления. Общие технические требования и методы испытаний : ГОСТ 14014-91 — ГОСТ 14014-91. — [Введ. 1993-01-01]. — М. : Изд-во стандартов, 1992. — 14 с. — (Межгосударственный стандарт).

106. Овчаренко Николай Ильич. Аналоговые и цифровые элементы автоматических устройств энергосистем / Н. И. Овчаренко. — М. : Энергоатомиздат, 1989. — 319 с. — ISBN 5-283-01028-7.

107. Грушвицкий Ростислав Игоревич. Аналого-цифровые периферийные устройства микропроцессорных систем / Р. И. Грушвицкий, А. Х. Мурсаев, В. Б. Смолов. — Л. : Энергоатомиздат, 1989. — 160 с. — ISBN 5-283-04450-5.

108. Дунаев Борис Борисович. Точность измерений при контроле качества / Б. Б. Дунаев. — К. : Техніка, 1981. — 152 с.

109. Основи метрології та вимірювальної техніки : [в 2 т.] / М. Дорожовець, В. Мотало, Б. Стадник [та ін.]; за ред. Б. Стадника. — Львів. : Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2005. — Т.1 : Основи метрології. — 532 с. — ISBN 966-553-311-8.

110. Новицкий Петр Васильевич. Оценка погрешностей результатов измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф. — 2-е. изд, перераб. и доп. — Л. : Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1991. — 304 с. — ISBN 5-283-04513-7.

111. Алиев Исмаил Ибрагимович. Электрические аппараты. Справочник / И. И. Алиев, М. Б. Абрамов. — М. : РадиоСофт, 2004. — 255 с. — ISBN 5-93037-115-6.

112. Моисеев Владимир Сергеевич. Системное проектирование преобразователей информации / В. С. Моисеев. — Л. : Машиностроение, 1982. — 255 с.

113. Дьяконов Владимир Павлович. Справочник по MathCAD PLUS 7.0 PRO / В. П. Дьяконов. — М. : СК Пресс, 1988. — 352 с. — ISBN 5-89233-018-4.

Наукове видання

**Грабко Володимир Віталійович
Левицький Сергій Михайлович**

**СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ
ТРАНСФОРМАТОРАМИ З ПОЗДОВЖНЬО-
ПОПЕРЕЧНИМ РЕГУЛЮВАННЯМ НАПРУГИ ПІД
НАВАНТАЖЕННЯМ**

Монографія

Редактор С. Малішевська

Оригінал-макет підготовлено С. Левицьким

Підписано до друку 28.12.09 р.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. др. арк. 6,9.
Наклад 100 прим. Зам № 2010-001.

Вінницький національний технічний університет,
КІВЦ ВНТУ,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-85-32.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті,
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-81-59
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.