

# ЗМІСТ

|  |           |
|--|-----------|
| Умовні скорочення.....   | 8         |
| Передмова .....  | 10        |
| <b>Ввідний розділ. Основи теорії електричних машин.....</b>                              | <b>11</b> |
| В.1. Застосування електричних машин та їх класифікація.....                              | 11        |
| В.2. Електромагнітні схеми та елементи аналізу ЕМ.....                                   | 15        |
| В.2.1. Електромагнітні схеми ЕМ і сили, які здійснюють ЕМПЕ.....                         | 15        |
| В.2.2. Елементи аналізу ЕМ.....  | 26        |
| В.2.2.1. Загальні співвідношення.....  | 26        |
| В.2.2.2. Однообмоткові ЕМ .....  | 31        |
| В.2.2.3. Двообмоткові однофазні ЕМ .....   | 38        |
| В.2.2.4. Двообмоткові багатофазні ЕМ.....  | 48        |
| В.2.3. Принципи перетворення електричної енергії на ЕМ .....                             | 63        |
| В.2.3.1. Режим перетворювання електричної енергії .....                                  | 63        |
| В.2.3.2. Режим електромеханічного перетворювання енергії.....                            | 64        |
| В.2.3.2.1. Активна потужність: баланс, складові, їх напрями та величини .....            | 65        |
| В.2.3.2.2. Баланс та складові реактивної потужності.....                                 | 72        |
| В.3. Особливості фізичних явищ окремих типів і узагальнена теорія електричних машин..... | 74        |
| В.3.1. Особливості фізичних явищ у машині постійного струму .....                        | 75        |
| В.3.2. Загальні особливості фізичних явищ машин змінного струму .....                    | 80        |
| В.3.3. Особливості фізичних явищ у синхронній машині.....                                | 82        |
| В.3.4. Особливості фізичних явищ в асинхронній машині .....                              | 88        |
| В.3.5. Особливості фізичних явищ у трансформаторі.....                                   | 93        |
| В.3.6. Ідентичність основних фізичних явищ усіх типів ЕМ та модель УЕМ.....              | 94        |
| В.3.7. Особливості використання моделі УЕМ для аналізу окремих типів ЕМ.....             | 99        |
| В.4. Втрати, нагрівання і охолодження електричних машин.....                             | 104       |
| В.4.1. Втрати в електричних машинах .....  | 104       |
| В.4.2. Рівняння процесів нагрівання та охолодження ЕМ .....                              | 106       |
| В.4.3. Режими навантаження електричних машин.....  | 110       |
| В.4.4. Охолодження електричних машин.....  | 114       |
| В.5. Принципи побудови ЕМ та їх конструкційні виконання.....                             | 117       |
| В.5.1. Активні частини ЕМ, їх характерні конструкції.....                                | 117       |
| В.5.2. Конструкційні частини ЕМ, їх призначення та будова.....                           | 118       |
| В.5.3. Основні види конструкційних схем ЕМ .....   | 121       |
| В.5.3.1. Конструкції активного шару ЕМ.....  | 122       |

|  |            |
|--|------------|
| В.5.3.2. Конструкційні виконання ЕМ .....  | 124        |
| В.5.3.2.1. Конструкційні виконання за способом монтажу .....                           | 124        |
| В.5.3.2.2. Конструкційні виконання за ступенем захисту.....                            | 125        |
| В.5.3.2.3. Конструкційні виконання ЕМ та ступенем<br>охолодження .....                 | 126        |
| В.5.3.2.4. Виконання ЕМ за рівнем шуму .....   | 126        |
| В.6. Матеріали, з яких виготовляють ЕМ.....  | 127        |
| В.6.1. Активні матеріали .....   | 127        |
| В.6.1.1. Струмopовідні матеріали .....   | 128        |
| В.6.1.2. Магнітопpовідні матеріали .....   | 129        |
| В.6.1.3. Магнітнотверді матеріали для ПМ .....   | 132        |
| В.6.2. Конструкційні матеріали.....  | 134        |
| В.6.2.1. Конструкційні матеріали механічних систем .....                               | 134        |
| В.6.2.2. Електроізоляційні матеріали.....  | 134        |
| В.6.2.3. Конструкційні матеріали ковзного струмознімання.....                          | 136        |
| В.7. Основні характеристики та показники роботи ЕМ.....                                | 136        |
| В.7.1. Характеристики та показники роботи ЕМ<br>загальнопромислового використання..... | 136        |
| В.7.2. Основні характеристики та показники роботи ІЕМ<br>та ІСЕМ САІ .....             | 144        |
| В.8. Основні етапи історії розвитку ЕМ.....  | 148        |
| В.9. Запитання та задачі .....   | 156        |
| <b>Розділ 1. Загальні питання будови й теорії машин постійного струму.....</b>         | <b>165</b> |
| 1.1. Застосування, принцип дії та рівняння стану ЕМПС .....                            | 165        |
| 1.2. Будова машин постійного струму.....   | 171        |
| 1.3. Обмотки твірниць .....  | 176        |
| 1.3.1. Загальні поняття .....  | 176        |
| 1.3.2. Проста паралельна обмотка.....  | 180        |
| 1.3.3. Проста послідовна обмотка .....   | 184        |
| 1.3.4. Складні обмотки .....   | 187        |
| 1.4. ЕРС обмотки твірниць та електромагнітний момент<br>електричної машини .....       | 193        |
| 1.5. Магнітне коло, характеристика намагнічування .....                                | 195        |
| 1.5.1. Загальні питання, ділянки магнітного кола .....                                 | 195        |
| 1.5.2. Намагнічувальна сила повітряного проміжку .....                                 | 197        |
| 1.5.3. Намагнічувальна сила зубцевої зони твірниць .....                               | 200        |
| 1.5.4. Результатна НС ЕМПС .....   | 203        |
| 1.6. Реакція твірниць ЕМПС .....   | 206        |
| 1.6.1. Магнітне поле ненасиченої машини зі щітками на поперечній осі ....              | 206        |
| 1.6.2. Поперечна реакція твірниць насиченої машини.....                                | 210        |
| 1.6.3. Реакція твірниць машини зі зміщеними щітками.....                               | 213        |
| 1.7. Комутація ЕМПС .....  | 215        |

|   |            |
|---|------------|
| 1.7.1. Загальні положення. Процес комутації .....   | 215        |
| 1.7.2. Класична теорія комутації .....  | 220        |
| 1.7.3. Середньопрямолінійна теорія комутації.....   | 223        |
| 1.7.4. Комплексна теорія комутації.....   | 230        |
| 1.7.5. Способи покращення комутації.....  | 239        |
| 1.8. Головні розміри, основні електромагнітні навантаження<br>і масогабаритні показники електричних машин постійного струму ..... | 242        |
| 1.9. Тенденції конструювання ЕМ і серії МПС.....  | 245        |
| 1.9.1. Загальні положення .....   | 245        |
| 1.9.2. Серії машин постійного струму .....  | 247        |
| 1.9.3. Основні характеристики серій МПС .....   | 248        |
| 1.10. Особливості будови та аналізу ЕМ зі збудженням<br>від постійних магнітів.....   | 249        |
| 1.10.1. Загальні поняття, особливості будови .....  | 249        |
| 1.10.2. Особливості розрахунку МЕМ .....  | 252        |
| 1.10.3. ФФ-діаграми ПМ, графоаналітичний розрахунок МЕМ.....  | 257        |
| 1.11. Вентильні машини постійного струму .....  | 264        |
| 1.11.1. Комутаційні процеси в потужних ВеМПС .....  | 264        |
| 1.11.2. Будова ВеМПС та їх конструкційних вузлів .....  | 269        |
| 1.11.3. Трисекційні ВеМПС .....   | 272        |
| 1.12. Електричні машини транспортних засобів.....   | 277        |
| 1.12.1. Типи, режими роботи, параметри ТЗ та їхніх ЕМ .....   | 287        |
| 1.12.2. Принципи вибору параметрів основних елементів схеми<br>електроприводу ведучих коліс .....                                 | 281        |
| 1.12.3. Елементи розрахунку ЕМТЗ .....  | 282        |
| 1.13. Електричні машини побутової техніки.....  | 285        |
| 1.14. Особливості роботи, будови та аналізу ЕМ САІ ПС .....   | 287        |
| 1.15. Теорія перехідних процесів у колекторних машинах.....   | 290        |
| 1.15.1. Фізичні явища та методи дослідження .....   | 290        |
| 1.15.2. Рівняння динамічного стану колекторної УЕМ.....   | 298        |
| 1.15.3. Рівняння динаміки двообмоткової КЕМ постійного струму .....   | 301        |
| 1.15.4. Базова модель машини, її параметри та перетворення .....  | 303        |
| 1.16. Запитання та задачі .....   | 306        |
| <b>Розділ 2. Генератори постійного струму.....</b>  | <b>311</b> |
| 2.1. Застосування, класифікація та елементи аналізу ГПС .....   | 311        |
| 2.2. Характеристики ГПС.....  | 319        |
| 2.3. Характеристика неробочого режиму і самобудження генераторів.....   | 319        |
| 2.4. Навантажувальні характеристики генераторів .....   | 324        |
| 2.5. Зовнішні характеристики генераторів.....   | 327        |
| 2.6. Регульовальні характеристики генераторів.....  | 337        |
| 2.7. Паралельна робота ГПС .....  | 339        |
| 2.8. Погашення поля генератора постійного струму.....   | 345        |

|   |            |
|---|------------|
| 2.9. Серії генераторів постійного струму .....  | 346        |
| 2.10. Особливості конструкцій, розрахунків і роботи МЕГ .....                           | 347        |
| 2.10.1. Особливості конструкцій МЕГ .....   | 347        |
| 2.10.2. Особливості розрахунків МЕГ .....   | 350        |
| 2.10.3. Регулювання і стабілізація вихідної напруги МЕГ .....                           | 352        |
| 2.11. Особливості роботи ВеГПС .....  | 354        |
| 2.11.1. Загальні відомості. Неробочий режим .....                                       | 354        |
| 2.11.2. Комутаційні процеси під час навантаження .....                                  | 355        |
| 2.11.3. Особливості роботи навантаженого ВеГПС .....                                    | 358        |
| 2.12. Генератори постійного струму транспортних засобів .....                           | 359        |
| 2.12.1. Класифікація та сфери застосування ГПС ТЗ .....                                 | 359        |
| 2.12.2. Тягові генератори потужних ТЗ .....   | 360        |
| 2.12.3. Тягові генератори ТЗ середньої потужності .....                                 | 363        |
| 2.12.4. Спеціальні генератори ТЗ .....  | 366        |
| 2.12.4.1. Спеціальний збудник головного ТЕГ потужного ТЗ .....                          | 366        |
| 2.12.4.2. Спеціальний генератор ТЗ з поперечним полем .....                             | 367        |
| 2.12.4.3. Однофазні перетворювачі ТЗ .....  | 369        |
| 2.12.5. Допоміжні ГПС ТЗ .....  | 372        |
| 2.12.6. Генератори ТЗ для живлення їх бортових систем .....                             | 373        |
| 2.13. Генератори побутової техніки .....  | 376        |
| 2.13.1. Генератори вітроелектростанцій .....  | 376        |
| 2.13.2. Зварювальні генератори з поперечним полем .....                                 | 376        |
| 2.14. Особливості будови, фізичних явищ, аналізу та характеристик генераторів САІ ..... | 377        |
| 2.14.1. Загальні поняття .....  | 377        |
| 2.14.2. Тахогенератори .....  | 378        |
| 2.14.3. Електромашинні підсилувачі .....  | 383        |
| 2.15. Перехідні процеси в генераторах .....   | 392        |
| 2.15.1. Загальні поняття .....  | 392        |
| 2.15.2. Генератор незалежного збудження .....   | 396        |
| 2.15.3. Шунтовий генератор .....  | 407        |
| 2.15.4. Генератор з незалежно-паралельним збудженням .....                              | 412        |
| 2.15.5. Генератор з незалежно-паралельно-послідовним збудженням .....                   | 415        |
| 2.15.6. Тахогенератори .....  | 416        |
| 2.15.7. Електромашинні підсилувачі .....  | 419        |
| 2.16. Запитання та задачі .....   | 425        |
| <b>Розділ 3. Двигуни постійного струму .....</b>  | <b>433</b> |
| 3.1. Принцип оборотності МПС, призначення і класифікація двигунів .....                 | 433        |
| 3.2. Двигуни загальнопромислового застосування .....                                    | 435        |
| 3.2.1. Основні рівняння двигуна, його характеристики та стійкість роботи .....          | 435        |
| 3.2.2. Пуск двигунів .....  | 446        |

|  |            |
|--|------------|
| 3.2.3. Регулювання швидкості обертання ДПС.....  | 451        |
| 3.2.4. Гальмування двигунів.....   | 457        |
| 3.2.5. Імпульсне керування КДПС .....  | 464        |
| 3.2.6. Особливості фізичних явищ у двигунах пульсівного<br>та імпульсного струму, наближений аналіз їх роботи.....     | 470        |
| 3.3. Особливості будови та аналізу МЕД.....  | 478        |
| 3.3.1. Загальні положення .....  | 478        |
| 3.3.2. Особливості конструкції .....   | 478        |
| 3.3.3. Особливості розрахунку.....   | 480        |
| 3.4. Вентильні двигуни постійного струму.....  | 482        |
| 3.4.1. Призначення, класифікація, особливості аналізу<br>та фізичних явищ ВеД.....                                     | 482        |
| 3.5. Особливості будови, розрахунку та експлуатації ТДПС.....  | 488        |
| 3.5.1. Особливості конструкцій ТД.....   | 488        |
| 3.5.2. Особливості розрахунку ТД.....  | 491        |
| 3.5.3. Особливості експлуатації ТД.....  | 493        |
| 3.5.4. Особливості роботи ТД пульсівного струму .....  | 495        |
| 3.6. Двигуни постійного струму САІ .....   | 503        |
| 3.6.1. Універсальні колекторні двигуни .....   | 503        |
| 3.6.2. Виконавчі двигуни .....   | 509        |
| 3.6.2.1. Загальні поняття.....   | 509        |
| 3.6.2.2. Двигуни з твірницьвим керуванням .....  | 514        |
| 3.6.2.3. Двигуни з полюсним керуванням.....  | 517        |
| 3.6.3. Моментні двигуни.....   | 518        |
| 3.7. Особливості конструювання та серії ДПС .....  | 526        |
| 3.8. Перехідні характеристики в двигунах постійного струму<br>та їх динамічні характеристики .....                     | 528        |
| 3.8.1. Елементи теорії перехідних процесів у двигунах<br>постійного струму на прикладі імпульсного керування ними..... | 528        |
| 3.8.2. Перехідні процеси в двигунах постійного струму<br>з постійним потоком збудження .....                           | 529        |
| 3.8.3. Перехідні процеси в ДПС з послідовним збудженням .....  | 539        |
| 3.9. Перехідні процеси у виконавчих двигунах постійного струму<br>та їх передатні функції .....                        | 547        |
| 3.9.1. Виконавчі двигуни з твірницьвим керуванням .....  | 547        |
| 3.9.2. Виконавчі двигуни з полюсним керуванням.....  | 549        |
| 3.10. Запитання та задачі.....   | 551        |
| <b>Список літератури.....</b>  | <b>562</b> |