Мшютерство освгги i науки Укра1ни Вшницький нацiональний технiчний унiверситет

На правах рукопису

Вишневський Святослав Янович

УДК 621.313.322

ФОРМУВАННЯ УМОВ ОПТИМАЛЬНОСТ1 УСТАЛЕНИХ РЕЖИМ1В НЕОДНОР1ДНИХ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖ З ДОВГИМИ Л1Н1ЯМИ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ1 З ВИКОРИСТАННЯМ УЗАГАЛЬНЕНИХ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ

Спещальнють 05.14.02 - Електричш станци, мережi i системи

Дисертащя на здобуття наукового ступеня кандидата техшчних наук

Науковий керiвник Лежнюк Петро Дем’янович доктор техшчних наук, професор

Вшниця - 2014

ЗМ1СТ

ПЕРЕЛ1К УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ 6

ВСТУП 7

РОЗД1Л 1 АНАЛ1З МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОД1В ТА ЗАСОБ1В ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ НОРМАЛЬНИМИ РЕЖИМАМИ НЕОДНОР1ДНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ 16

1.1 Характеристика методiв onraMi3a^i' нормальних режимiв електроенергетичних систем 17

1.1.1 Особливост застосування градieнтних методiв для моделювання оптимальних сташв ЕС 18

1.1.2 Методи можливих напрямкiв i випадкового пошуку 22

1.1.3 Особливостi процедур визначення оптимальних режимiв ЕС на основi варiацiйного числення та принципу найменттю! ди 24

1.2 Методи оптимального керування потоками потужност та напругою в ЕС 26

1.2.1 Методи теори подiбностi в задачах оптимального керування нормальними режимами ЕС 26

1.2.2 Методи компенсаци негативного впливу неоднорщност ЕС на енергоефективнють функцiонування електричних мереж 29

1.3 Математичш моделi усталених режимiв довгих лiнiй електропередачi 37

1.3.1 Використання систем алгебра!чних рiвнянь 39

1.3.2 Використання теори чотириполюсниюв 41

1.4 Проблеми реалiзацil оптимального керування потоками потужност в ЕС з довгими лтями електропередач 44

1.5 Висновки по роздшу 1. Постановка задач дослщження 47

РОЗД1Л 2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ УСТАЛЕНИХ РЕЖИМ1В ТА НЕОДНОР1ДНОСТ1 ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ З ДОВГИМИ Л1Н1ЯМИ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ1 49

2.1 Рiвняння стану електрично! мережi в матричнш формi 50

2.2 Узагальнеш рувняння усталеного режиму електричних мереж ЕС з довгими лшуями електpопеpедачi 53

2.2.1 Узагальнена математична модель усталеного режиму ЕС за методом вузлових напруг 54

2.2.2 Узагальнена модель усталеного режиму ЕС за методом контурних стpумiв 61

2.2.3 Узагальнеш математичш моделi усталених pежимiв ЕС з iдеальними трансформаторами 63

2.3 Розpахунковi умови визначення економiчного стpумоpозподiлу в ЕС

з трансформаторними зв’язками та довгими лшуями електpопеpедачi... 64

2.4 Моделювання оптимальних зpiвнювальних е.р.с. у контурах неоднорудних ЕС з довгими лiнiями електpопеpедачi 71

2.5 Математичне моделювання загальносистемних показникув неоднорудносту ЕС з довгими лшуями електропередачу 75

2.5.1 Узагальнеш показники неоднорщносту ЕС 76

2.5.2 Загальносистемш показники неоднорщносту ЕС 78

2.6 Вдосконалення методу формування закошв оптимального керування потоками потужносту в неоднорудних електричних системах з довгими лшуями електропередач 81

2.6.1 Математична модель оптимальних зрувнювальних е.р.с. для ЕС з зосередженими параметрами 81

2.6.2 Метод формування закошв оптимального керування нормальними режимами електричних систем з довгими лунуями електропередачу 82

2.7 Висновки по роздшу 2 86

РОЗД1Л 3 АЛГОРИТМИ АНАЛ1ЗУ НЕОДНОР1ДНОСТ1 ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ З ДОВГИМИ Л1Н1ЯМИ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ1 ТА ОПТИМ1ЗАЦ11 ПОТОК1В ПОТУЖНОСТ1 В НИХ 88

3.1 Автоматизащя оптимального керування усталеним режимом ЕС з довгими лшуями електропередачу 89

3.1.1 Автоматизована система керування усталеним режимом ЕС з елементами локального керування 89

3.1.2 Особливост ре^зацй системи автоматичного керування потоками потужност в ЕС з децентралiзащeю функцш керування в реальному часi 92

3.1.3 Адаптащя законiв оптимального керування нормальними режимами неоднорудних ЕС з довгими електропередачами 97

3.2 Алгоритм визначення оптимальних керувальних впливiв для ЕС довгими лтями електропередачi 103

3.2.1 Алгоритм формування розрахунково! моделi ЕС з довгими лтями електропередач 103

3.2.2 Алгоритм визначення оптимальних коефщенлв трансформацй для компенсацй негативно! дй неоднорiдностi ЕС 107

3.3 Алгоритмiчний опис процесiв визначення та оперативного корегування критерйв подiбностi в системi керування 111

3.3.1 Алгоритм процесу визначення матрищ критерйв подiбностi.... 111

3.3.2 Алгоритм процесу визначення коефщенлв матрищ струморозподшу 115

3.3 Алгорштчний опис проце^в аналiзу ступеню неоднорiдностi для ЕС з довгими лтями електропередачi 118

3.3.1. Алгоритм процесу визначення матриць узагальнених показниюв неоднорiдностi 118

3.3.2 Алгоритм проце^в визначення загальносистемних показникiв неоднорiдностi ЕС 121

3.4. Висновки по роздшу 3 123

РОЗД1Л 4 ОЦ1НЮВАННЯ АДЕКВАТНОСТ1 РОЗРОБЛЕНИХ МЕТОД1В АНАЛ1ЗУ НЕОДНОР1ДНОСТ1 ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ ТА

ОПТИМГЗАЦП IX НОРМАЛЬНИХ РЕЖИМ1В 124

4.1 Дослщження впливу розосередженостi параметрiв довгих лiнiй електропередачi на оптимальнють функцiонування ЕС 125

4.1.1 Розрахунок усталених режимув ЕС з використанням узагальнених математичних моделей 125

4.1.2 Вплив хвильових властивостей довгих лшш електропередачу на зрувнювальну е.р.с. в контурах ЕС 128

4.2 Аналуз неоднорудносту електричних систем з довгими лунуями електропередачу 134

4.2.1 Аналуз неоднорудносту ЕС з використанням узагальнено! вузлово! моделу усталеного режиму 134

4.2.2 Аналуз неоднорудносту ЕС з використанням узагальнено! контурно! моделу усталеного режиму 136

4.2.3 Дослудження чутливосту загальносистемних показникув неоднорудносту 138

4.3 Визначення оптимальних коефщуенпв трансформаци для контурув ЕС з довгими лшуями електропередачу 143

4.3.1 Дослудження зв’язку муж оптимузащею пасивних параметрув ЕС та оперативним коригування коефщуентув трансформаци 143

4.3.2 Аналуз ефективносту розробленого методу формування закошв оптимального керування потоками потужносту в ЕЕС 146

4.4 Висновки по роздшу 4 149

ВИСНОВКИ 150

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 152

ДОДАТОК А Вихудну дану та результати розрахунку усталеного режиму для схеми фрагменту ЕС 110-750 кВ Швденно-Захщно!

електроенергетично! системи 166

ДОДАТОК Б Розрахунок оптимальних коефщуентув трансформаци трансформаторув ЕС з врахуванням !х поточних параметрув та впливу

довгих лшш електропередачу 170

ДОДАТОК В Доводки про впровадження результатув 184

ВИСНОВКИ

Вробототриманоновевирйттенняактуальнонауковоприкладноздчпдвищенняефективностфункцонувннянеодноднихелектричнихмережздовгимиелектропередачамищополягаеурозробленшузагальненихматематичнихмоделейоптимальнихстнвелектричнихсистемелзцяякихдозволяечерезпроектшшеннятакеувльнвпливизменшуватитехнологчнвитратитатдвищуватиякстьелектоенегвелектричнихсистемахтдчастранспортування

 НеодноднстьелектричнихмережщомютятьдовгЛЕПеодтеюзосновнихпричиндодатковихвтрателектроенергитдчастранспортуваннятарозподшуаходищодоеконстукцЕЕСзаштттихвнихумовповиннсупроводжуватисязменшеннямсистемнонеоднодностЛишеутакомувипадкузабезпечуетьсязменшеннявтратуцломупоенергосистеманеуокремихтдсистемах

 УобототриманоматематичшмоделзвнювльнихерстаоптимальнихерснебалансувелектричнихмережахзурахуваннямособливостейфункцюнуваннядовгихлшшелектропередачпоказанощозазначеннуковрезультатиможутьбутивикоистндлярозробленняефективнихметодвоптимзцнормальнихежимвелектромережЕЕС

 ВстановленощохвильоввлстивостЛЕПокремихклавнапругивнаявнихматематичнихмоделяхнормальнихежимвЕЕСневраховуютьсяабовраховуютьсяопосередкованостаннеможепризводитидоформуваннянеточнихкерувальнихвпливвособливовзадачахоптимзцпотоювактивнопотужностТомувроботзапропонованоузагальненуматематичнумодельусталенихежимвЕЕСздовгимиЛЕПкВвищедлярозв’язанняздчоперативногокеруванняпотокорозподшом

 ТеоретичнодоведенощоуконтурахелектромереждоякихвходятьдовпЛЕПкВвищезаумовизбалансованихкоефцентвтрансформациможутьвиникатиконтуршерсевалентшерснебалансуЦепроявляетьсяузмтзначеньзрвнювальнихерсзамкненихконтурвмаевраховуватисятдчасформуваннязаконвоптимальногокеруванняатакожкерувальнихвпливвнаокремрегулювальнпристро

 РозробленоматематичнумодельзрвнювальнихерснеоднорщнихелектромережзурахуваннямхвильовихвластивостейдовгихЛЕПкВвищещодаеможливютьвраховувативпливрозбалансованосткоефьщенлврозповсюдженняхвилЛЕПнаоптимальнютьпотокорозподлувелектричнихсистемахЗапропоновановдосконаленняметодуформуваннязаконвкеруваннядлятрансформаторнихзвязквелектричнихмережздовгимилтямиелектропередачМетодвраховуючивзаемовпливпоперечногорегулюваннятахвильовихпараметрвЛЕПдозволяевизначалипараметрирегулювальнихпристровреалзацяякихмаксимальнонаближаережимироботиЕЕСдоекономчних

 НапдставузагальненихмоделейзрвнювальнихерсзапропонованонизкузагальносистемнихпоказниквнеоднордностякимиможнаоцшитивпливзмнитопологелектричносистемивведенняновихлнйелектропередачустановокпоздовжньокомпенсацтатрансформаторвнаоптимальнстьрежимвЕЕСВонидозволяютьформуватирйттеннязпроведенняцлеспрямованореконструкцЕЕСдлязменшенняступенюнеоднородноститобтопослдовногоусуненняпершопричининеоптимальностпотокорозподлувелектричнйсистем

 ПрацездатнстьтаефективнстьзапропонованихуроботметодвалгорштвперевренашляхомпроведеннярозрахунквзкеруванняпотокорозподломреальнихелектроенергетичнихсистемРозробленнахосновпрограмнзасобипереданодлядослщноексплуатацуШвденноЗахщнуелектроенергетичнусистемухвпровадженнядозволитьдодатковознизитивтратиелектроенергина—зарахунокбшьшефективноговикористаннянаявнихрегулювальнихпристров