

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять
з дисципліни «Системи керування в енергетичних системах»
для студентів спеціальності 141
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
усіх форм навчання

2021

Методичні вказівки з практичних занять з дисципліни «Системи керування в енергетичних системах» для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» усіх форм навчання /Укл.:П.В.Махлін. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021 р. - 19 с.

Укладач:

Махлін П.В., доцент,
к.т.н.

Рецензент:

Шрам О.А., зав.
кафедри ЕПП, к.т.н.

Відповідальний за
випуск:

Шрам О.А., зав.
кафедри ЕПП, к.т.н.

Затверджено
на засіданні НМК
«Електротехнічного
факультету»
Протокол № 7 від 22.04.21

Затверджено
на засіданні кафедри
“Електропостачання
промислових
підприємств”

Протокол № 6 від 17.03.21

ЗМІСТ

Вступ	4
1 Структура та функції системи оперативно-диспетчерського управління	5
2 Елементи автоматичних пристроїв енергосистем	7
2.1 Аналогові елементи виділення вхідних сигналів	7
2.2 Програмні елементи виділення вхідних сигналів	9
3 Автоматика ліній електропередач високої та надвисокої напруги на мікропроцесорній базі	10
3.1 Автоматичне повторне включення	10
3.2 Мікропроцесорні пристрої контролю погасання електричної дуги та вдалого включення фази ЛЕП з одного боку.	13
3.3 Мікропроцесорна автоматика обмеження підвищення напруги	15
Перелік посилань	19

ВСТУП

Технічний прогрес в галузі засобів виробництва, перетворення, передачі та розподілення електроенергії веде до необхідності централізації системи електропостачання – збільшення потужності агрегатів та електростанцій, пропускної здатності ЛЕП, покращення технічних та економічних показників обладнання. Створення потужних енергооб'єднань необхідно для забезпечення надійності та економічності системи електропостачання. Але при цьому підвищується вірогідність каскадних аварій, коли пошкодження одного елемента призводить до перевантаження та відключення інших елементів мережі. Для ефективного функціонування системи електропостачання необхідно застосовувати сучасні методи та засоби диспетчерського управління, лінійної та протиаварійної автоматики.

Метою викладання дисципліни «Системи керування в електроенергетичних системах» є засвоєння студентами структури, задач та функцій оперативного диспетчерського управління, інформаційного та математичного їх забезпечення, засобів зв'язку диспетчерських центрів з об'єктами керування, методами та засобами управління нормальними режимами роботи, вибір схем комутації електричної мережі у нормальних та аварійних режимах, роботу засобів лінійної та протиаварійної автоматики, а також автоматики, що попереджує порушення стійкості енергосистеми та ліквідує асинхронний режим.

Вивчаючи дисципліну «Системи керування в електроенергетичних системах» студенти повинні ознайомитися зі структурою, принципами та технічними засобами оперативно-диспетчерського керування, з принципами планування режимів роботи, засобами керування нормальними режимами роботи для забезпечення надійності енергосистеми, керування режимами по частоті та активній потужності, по напрузі та реактивній потужності, керування електроспоживанням; з принципами та засобами протиаварійного керування, структурними схемами протиаварійної автоматики, що попереджує порушення стійкості електроенергетичної системи; автоматики, що обмежує зниження та підвищення частоти; засобами диспетчерського управління по відновленню нормального режиму роботи енергосистеми.

Робочою програмою дисципліни передбачені лекції та практичні заняття. На лекціях студенти ознайомляться з основними положеннями теорії керування нормальними та аварійними режимами роботи електроенергетичної системи. Практичні заняття повинні сприяти вивченню засобів диспетчерського управління енергосистемою в нормальних режимах роботи та схем автоматичного керування в аварійних режимах роботи енергосистем.

1 СТРУКТУРА ТА ФУНКЦІ СИСТЕМИ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО УПРАВЛІННЯ

Вищим рівнем оперативно-диспетчерського управління є національний диспетчерський центр (НДЦ), що входить в склад Національної енергетичної компанії «Укренерго». Структура оперативно-диспетчерського управління показана на рисунку 1.1. Диспетчерський персонал НДЦ України здійснює оперативне керівництво регіональними диспетчерськими центрами, а також старшим оперативним персоналом великих вузлових підстанцій, основної мережі та вищим оперативним персоналом потужних електростанцій міжсистемного значення – атомних електростанцій та гідроелектростанцій великої потужності.

Диспетчерські центри енергосистем здійснюють оперативне керівництво електростанціями та основною мережею, а також ланками системи управління розподільними мережами, що їм підпорядковані. Оперативне управління розподільними мережами здійснюють диспетчери підприємства та районних електричних мереж.

Основне обладнання енергосистем, а також засоби автоматичного та оперативного керівництва знаходяться в оперативному управлінні диспетчерів різних рівнів.

Крім оперативного керування диспетчерські управління та служби розробляють пропозиції та приймають участь в вирішенні питань по розвитку енергосистем, в приєднанні нових енергорайонів, вводу в експлуатацію обладнання електростанцій, ліній електропередач та інших об'єктів електромереж. Диспетчерські управління та служби розробляють завдання на проектування систем та пристроїв автоматичного управління нормальними режимами роботи та протиаварійної автоматики системного значення.



Рисунок 1.1 – Структура оперативно-диспетчерського управління України

Диспетчери різних підрозділів приймають участь в розробці планів виробітки електроенергії та міжсистемних перетоків електроенергії, розробляють оперативні баланси електроенергії та потужності, координують різні плани режимів основного обладнання електростанції та основної мережі.

У зв'язку з вводом в експлуатацію нових енергооб'єктів, а також у різні періоди роботи енергосистеми (осінньо-зимовий максимум навантаження, весняний паводок та інші) диспетчерські управління та служби розробляють експлуатаційні схеми нормального режиму та режими роботи, затверджують графіки напруги у вузлах (контрольних

точках основної мережі), розробляють заходи по підвищенню надійності та економічності роботи енергосистем.

Диспетчерські управління та служби щоденно розглядають заяви на проведення ремонтних робіт об'єктів, установлюють необхідні зміни до основної схеми та режиму роботи.

Черговий диспетчер контролює схему та режим роботи та при необхідності проводить зміни, що забезпечують надійність та економічність роботи.

Диспетчер НДЦ України корегує графіки сумарної потужності енергосистеми та регулює міжсистемні перетоки, керує регулюванням частоти, контролює стан пристроїв протиаварійної автоматики основних міжсистемних зв'язків, керує роботою з обладнанням, що в його оперативному управлінні та ліквідацією аварій, що порушують режим роботи енергосистеми України.

Щодня диспетчери НДЦ України та РДЦ отримують та обробляють інформацію про роботу енергосистеми за добу, що минула: виробка електроенергії, максимум навантаження, резерви потужності, міжсистемні перетоки, рівні води в основних водосховищах, стан з пальними ресурсами та інше.

Контрольні запитання

1. Що являється вищим рівнем керівництва оперативно-диспетчерського управління?
2. Структура оперативно-диспетчерського управління України.
3. Що знаходиться під оперативним керівництвом регіональних диспетчерських центрів?
4. Які питання щоденно вирішують диспетчерські центри щодо режимів роботи та схеми підпорядкованих їм об'єктів?
5. Які питання вирішують диспетчери в частині планів виробки та розподілення електроенергії?

2 ЕЛЕМЕНТИ АВТОМАТИЧНИХ ПРИСТРОЇВ ЕНЕРГОСИСТЕМ

2.1 Аналогові елементи виділення вхідних сигналів

Від первинних вимірювальних перетворювачів електроенергії на входи автоматичних пристроїв поступають інформаційні аналогові сигнали, що мають достатньо велику кількість перешкод. Вихідні інформаційні процеси функціональних елементів автоматичних пристроїв перетворюють вихідні сигнали в непереривні у вигляді постійних складових напруги – $U_{0_{вих}}(t)$ та струму – $I_0(t)$, що змінюються у часі та мають перешкоди у вигляді гармонічних та аперіодичних складових, а також коливних складових.

Для правильного функціонування автоматичних пристроїв необхідно виділення вхідного та вихідного сигналів без перешкод, тобто провести фільтрацію сигналу. Цю функцію виконують аналогові та цифрові частотні фільтри.

Розділення сигналу та перешкод аналоговим фільтром проводиться шляхом інтегрування добутку інформаційного процесу $x_{вх}(t)$ та імпульсивної характеристики $h(t - \theta)$, що забезпечує максимальне значення інтегралу від виваженого сигналу та мінімальне значення від зважених перешкод:

$$x_{вих}(t) = 0 \int_0^t x_{вх}(\theta) \times h(t - \theta) d\theta ,$$

де θ - час зміщення імпульсної характеристики.

Розділення сигналу та перешкод за допомогою цифрового фільтру проводиться шляхом складання добутків чисел, що відображають миттєві значення вхідного процесу $x_{вх}(iT)$ та цифрових значень дискретної імпульсної функції $[H(n - i)T]$, що зміщена на час iT .

На рис.2.1 показані амплітудно-частотні характеристики фільтрів: нижніх та верхніх частот, смугових пропускаючих та загороджуючих фільтрів, тобто залежність коефіцієнта передачі фільтра $k(\omega)$ від кругової частоти. Гранична частота пропускання $\omega_{ср.п}$ відповідає зниженню значення коефіцієнта передачі в смузі на $\sqrt{2}$. Гранична частота затримки $\kappa_*(\omega) = 0,1$. Смугові та затримуючі фільтри мають по два значення граничних частот та середню частоту $\omega_{ср}$.

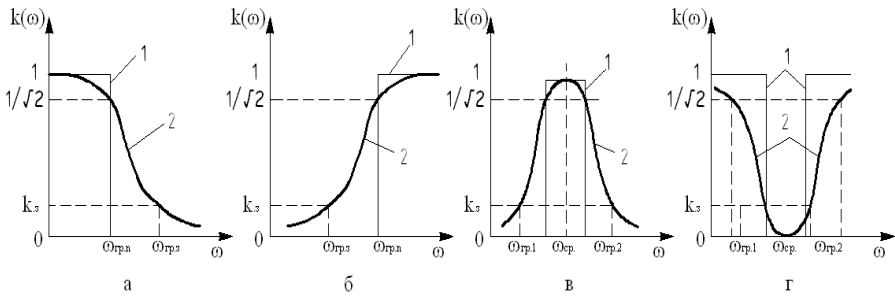


Рисунок 2.1 – Амплітудно-частотні характеристики частотних фільтрів нижніх (а) та верхніх (б) частот; смугового пропускаючого (в) та загороджуючого (г) фільтрів

2.2 Програмні елементи виділення вхідних сигналів

При програмній обробці інформації мікропроцесорними автоматичними пристроями миттєві значення вторинної напруги та струму, що отримується від трансформаторів напруги та струму, перетворюються за допомогою аналого-цифрових перетворювачів в сукупність чисел. При цьому сукупність чисел відображають дискретні миттєві значення сигналів та перешкод.

Цифровий частотний фільтр (ЦЧФ) вичислює дискретні миттєві значення примусової коливальної складової або постійної складової вторинної напруги та струму. ЦЧФ представляє собою спеціальний обчислювальний пристрій або обчислювальний алгоритм на мікроЕОМ.

ЦЧФ з безобмеженою імпульсною характеристикою називаються рекурсивними, а з обмеженою імпульсною характеристикою – нерекурсивними. Рекурсивні ЦЧФ функціонують по замкнутій схемі з негативним зворотнім зв'язком та використовують при обчисленні поточного дискретного значення вхідного інформаційного процесу.

Нерекурсивні ЦЧФ функціонують по розімкнутій схемі (без зворотнього зв'язку) та мають лінійну фазочастотну характеристику. Кінцеві дискретні імпульсні характеристики розроблені при розвитку теорії цифрової обробки інформації математичними методами.

Нерекрусивні ЦЧФ функціонують виключно як програмні. У швидкодіючих адаптованих у ЦЧФ кінцева імпульсна характеристика постійно змінюється. Її дискретні значення обчислюються у реальному часі електромагнітних перехідних процесів в електроенергетичній системі, що генерують вільні коливання із випадковим складом та вимушені гармонічні складові напруги та струму.

Контрольні запитання

1. На який пристрій посилають сигнали від керівних вимірювальних перетворювачів електроенергії?
2. Яким чином виділяють вхідні сигнали на автоматичні пристрої без перешкод ?
3. Амплітудно-частотні характеристики фільтрів нижніх та верхніх частот .
4. Аналогові елементи виділення вхідних сигналів .
5. Програмні елементи виділення вхідних сигналів .

З АВТОМАТИКА ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ВИСОКОЇ ТА НАДВИСОКОЇ НАПРУГИ НА МІКРОПРОЦЕСОРНІЙ БАЗІ

3.1 Автоматичне повторне включення

Трифазне автоматичне повторне включення (АПВ) реалізується наступним чином:

- несинхронне АПВ з повторним включенням вимикача з одного боку ЛЕП, що відключена з контролем відсутності напруги (ТАПВ-ВН), а з іншого боку з контролем наявності симетричної напруги (ТАПВ-НСН);

- АПВ з прискоренням (ПТАПВ) з часом дії від 0,05 с, що здійснюється при фіксації першого спрацьовування швидкодіючої автоматики відключення ЛЕП, диференційно-фазного та фільтрового направленої потужності зворотної послідовності високочастотного

захисту, дистанційного та струмового направленою захисту нульової послідовності з високочастотними сигналами прискореної дії;

- з контролем наявності симетричних та синхронних напруг з обох сторін вимикача, що відключений, та з синхронізацією (ТАПВ-КС).

Мікропроцесорна автоматика (ТАПВ-М) здійснює оцінку важності к.з., що відключено релейним захистом При близьких к.з. автоматично змінюється порядок повторного включення вимикачів ЛЕП. Першим включається вимикач, найбільш віддалений, та тим самим полегшується робота вимикачів при необхідності відключення не усунутого к.з..

При невдалому повторному включенні вимикача ТАПВ-М видає інформацію в системну протиаварійну автоматику, що допомагає запобігти порушенню стійкості енергосистеми (АППС). Дія ТАПВ-М забороняється сигналами АППС.

На рис.3.1 показана функціональна схема ТАПВ. Обчислювальна частина ТАПВ-М містить програмні фільтри напруги:

- два комплекти прямої послідовності PH1U1Q1, PH2U1Q1; PH1U1Q2, PH2U1Q2;
- зворотної послідовності PHU2Q1 та PHU2Q2;
- нульової послідовності PHU0Q1 та PHU0Q2.

Ці комплекти необхідні для контролю відсутності (ВН) та наявності симетричної складової (НСН) напруги з обох сторін ЛЕП, що включається. Крім того, ці комплекти забезпечують швидкодіючий контроль к.з., що не відключені, та неповнофазних односторонніх вимикань та вмикань.

Сигнал відсутності напруги після першого (Q1) вимикача ОН-Q1 фазується на виході програмного логічного елемента DX2 (U) при одночасному надходженні на його входи одиничних логічних сигналів від програмних інверторів DU1, DU2 та DU3 про відсутність спрацьовування програмних вимірювальних реле напруги PHU0Q1, PHU2Q1 та PH2U1Q1. Програмним елементом DX4 (U) через

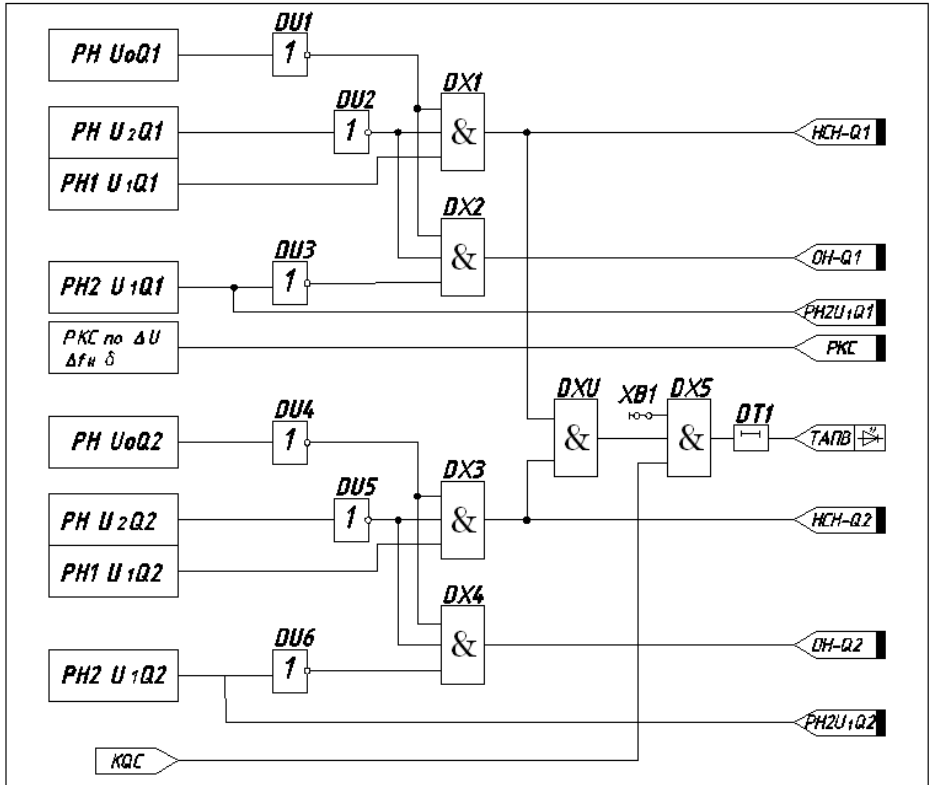


Рисунок 3.1 – Логічна схема контролю напруг ТАПВ

інвертори DU4, DU5 та DU6 формується сигнал про відсутність напруги на ЛЕП перед другим (Q2) вимикачем ОН- Q2.

Сигнали наявності симетричної напруги НСН- Q2 перед другим, або після першого НСН- Q1 вимикачів формуються на виходах програмних логічних елементів DX3 або DX1 (U) при одночасному надходженню на їх входи одиничних логічних сигналів при спрацьовуванні реле PH1U1Q2 або PH1U1Q1 та на входи інверторів DU4, DU5 або DU1, DU2 нульових логічних сигналів про неспрацьовування реле PHU0Q2, PHU2Q2 або PHU0Q1, PHU2Q1.

При наявності сигналу пуск автоматики ТАПВ- ОН першого вимикача Q1 переводиться при відсутності напруги на ЛЕП ОН- Q1, а несинхронне повторне виключення (НАПВ) другого вимикача Q2- при наявності симетричної напруги на іншому кінці ЛЕП НСН –Q2; ТАПВ- ОН другого вимикача Q2 проводиться при відсутності напруги перед ним (на кінці ЛЕП) по сигналу ОН- Q2, а першого Q1 - при наявності симетричної напруги після нього (на початку ЛЕП) по сигналу НСН- Q1. Розмиканням програмної накладки ХВ1 вводиться формування операціями DX4, DX5, що діють після спрацьовування реле – повторювання положення «виключено» вимикачів, тобто про успішне ТАПВ.

3.2 Мікропроцесорні пристрої контролю погасання електричної дуги та вдалого включення фази ЛЕП з одного боку.

Після відключення вимикачів ЛЕП, що пошкоджена електродуговим к.з. на землю, дуга підтримується струмом, що збуджується наведеним у відключеному проводі магнітним потоком нульової послідовності неповно фазного режиму. Для здійснення вдалого однофазного АПВ необхідно дочекатися її погасання, а тому вводиться витримка часу горіння дуги.

Для прискорення дії та підвищення ефективності однофазного АПВ використовується пристрій контролю погасання електричної дуги (КПЕД). За допомогою цього пристрою контролюється наведена ЕРС, що з'являється тільки після погасання електричної дуги. Причому в наведеній ЕРС вільна складова частотою менше 50 Гц, то в схемі використовується цифровий затримуючий частотний фільтр, що налаштований на частоту 50 Гц.

У функціональній схемі мікропроцесорного модуля передбачається чотири канали.

Перший канал, що має програмне максимальне вимірювальне реле KV1 (рисунок 3.2), функціонує на ЛЕП з практично повною компенсацією її ємності за допомогою реакторів.

Другий канал має фільтр 2F, що затримує вказану складову ЕРС промислової частоти, та максимальне реле напруги KV2. Цей канал діє по абсолютному значенню вільної коливальної складової ЕРС на ЛЕП з частковою компенсацією ємнісної складової.

Сигнал згасання електричної дуги видається через логічну операцію DW1 (ИЛИ).

На ЛЕП з слабкою компенсацією ємнісних складових або без реакторів використовується або абсолютне значення вільної коливальної складової частотою 2 – 25 Гц (третій канал) або кут зсуву фаз між напругою та струмом (четвертий канал). Ці канали мають програмне вимірювальне реле максимальної напруги KV3 та реле зсуву фаз KW. Вони видають сигнали про погашення дуги через логічну операцію DW2. канали переключають ключем SA1.

Мікропроцесорний модуль має вхідний мультикомпенсор МПЛ, що підключає кола формувача напруги, пропорційної струму нульової послідовності I_0 , до вторинної фазної напруги U_a , U_b , U_c . Мультиплексор керує сигналами виборця пошкодженої фази – ИПФ однофазного АПВ.

Після повторного включення мікропроцесорний модуль за допомогою перемикача SA2 переводиться у стан контролю вдалого включення (КУВ).

Канал КУВ має програмне максимальне реле напруги KV4, що спрацьовує при номінальній фазній напрузі. Програмне реле напруги нульової послідовності KV5 допомагає запобігати зайвим спрацьовуванням при високій наведеній ЕРС.

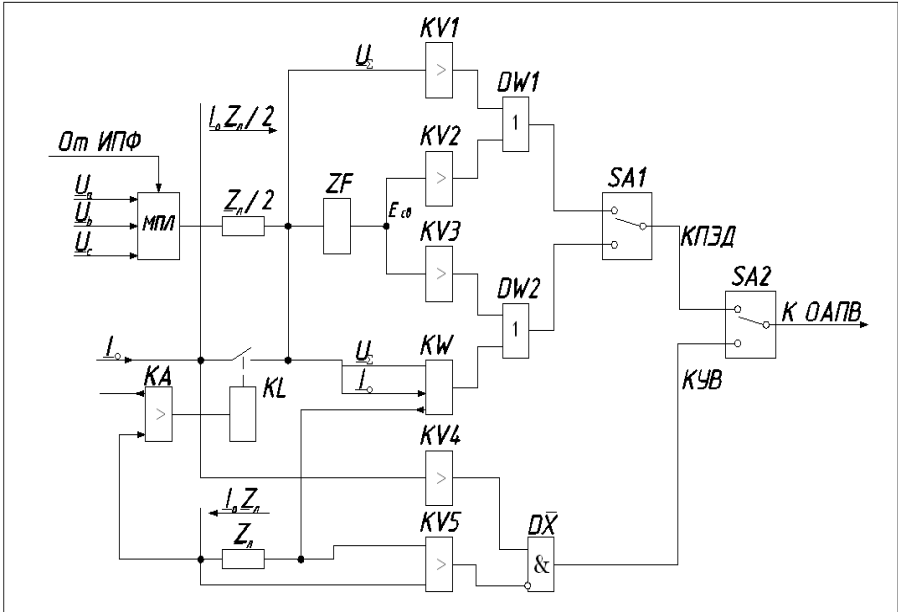


Рисунок 3.2 – Функціональна схема мікропроцесорного модуля контролю згасання дуги та успішного включення

3.3 Мікропроцесорна автоматика обмеження підвищення напруги

Автоматика обмеження підвищення напруги (АОПН) виконується двоступінчатою.

Першим та другим ступенем АОПН-М (М - мікропроцесорна) відповідають кратності напруги, що контролюється $k_2 = 1,1 \div 1,25$ та $k_3 = 1,25 \div 1,76$.

Діапазон часу спрацьовування залежить від кратності напруги, та знаходиться у межах від 20 хвилин до 20 с та від 20 с до 0.

Крім того має місце попередній ступінь для фіксації кратності напруги в межах $k_1 = 1,05 \div 1,1$.

Алгоритм функціонування АОПН-М засновано на обчисленні амплітудного та діючого значень напруги та порівняння їх з заданим значенням. При цьому час спрацювання обчислюється згідно з вольт-секундною характеристикою з урахуванням попереднього рівня перенапруги. Попередній ступінь АОПН-М спочатку діє на електроенергетичні об'єкти автоматичного регулювання напруги та реактивної потужності: синхронні та статичні компенсатори реактивної потужності та трансформатори (автотрансформатори) з РПН. Якщо вказані заходи не приводять до бажаного результату, то застосовуються заходи першого ступеню – включаються в схему реактори LR1 та LR2 (рисунок 3.3).

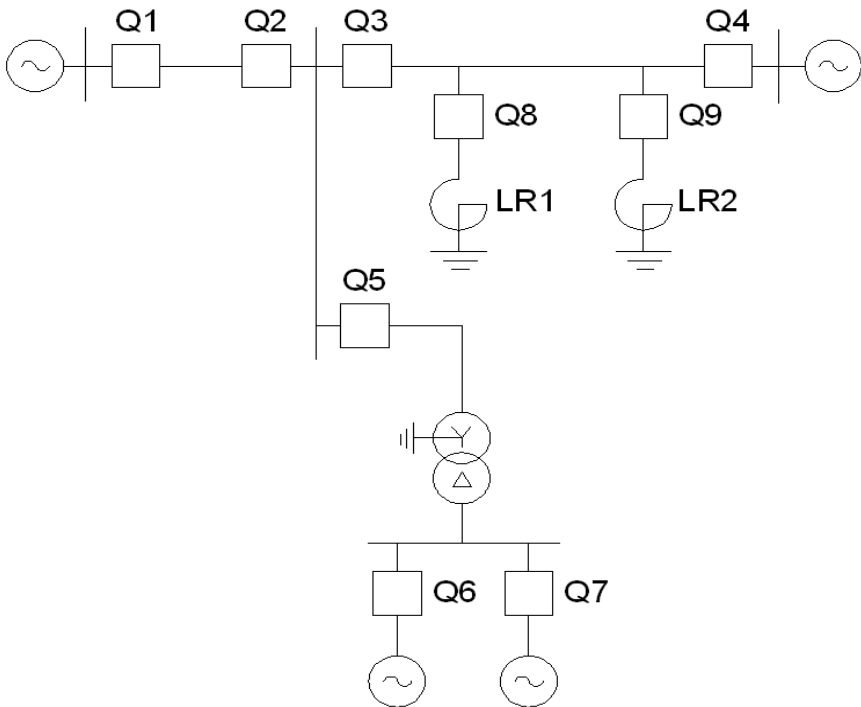


Рисунок 3.3 – Еквівалентна схема електроенергетичної системи

При дії першого ступеню АОПН-М вмикає вимикачі реактора на початку ЛЕП або передає сигнал по каналу зв'язку вмикання реактора з другого кінця ЛЕП. Якщо перенапруга суттєво не знижується, то ЛЕП вимикається.

Другий ступінь з витримкою часу вмикає вимикач Q3, або виконує телевимикання вимикача Q4, якщо він був ввімкнутий, Q3 включений.

Відключення ЛЕП з протилежного боку фіксується по збільшенню потоку реактивної потужності з лінії до шин. При цьому реактивна потужність порівнюється із заданим значенням, та дається сигнал на блокування спрацьовування пристрою АОПН-М (так як, підвищена напруга виникла із-за відключення ЛЕП з одного боку).

Структурна схема АОПН-М показана на рисунку 3.4. Програмні обчислювальні та логічні операції показані умовними позначеннями - вимірювальний перетворювач напруги ИПН та струму ИПТ, реактивної потужності ИПАМ, а також логічних елементів співпадання DX, підсумовування DW та інверсії DU дискретних сигналів.

Програма визначення часу (ПОВ) формування керувальних дій згідно з вольт-секундною характеристикою обчислює через який час після виникнення перенапруги повинні бути впровадженні відповідні заходи – вмикатися або вимикатися компенсатори реактивної потужності, реактори або вимикатися ЛЕП.

Згідно з алгоритмом АОПН-М виконання керуючих дій на компенсатори реактивної потужності, реактори, на відключення ЛЕП виконується при наявності сигналу від вимірювальних перетворювачів активної та реактивної потужностей.

На входах логічних елементів DX, що активізують програмні операції співпадання стрічками показані сигнали конфігурації автоматики – набір функцій, що виконується, який устанавлюється при їх непогодженні від обчислювальної машини (комп'ютера).

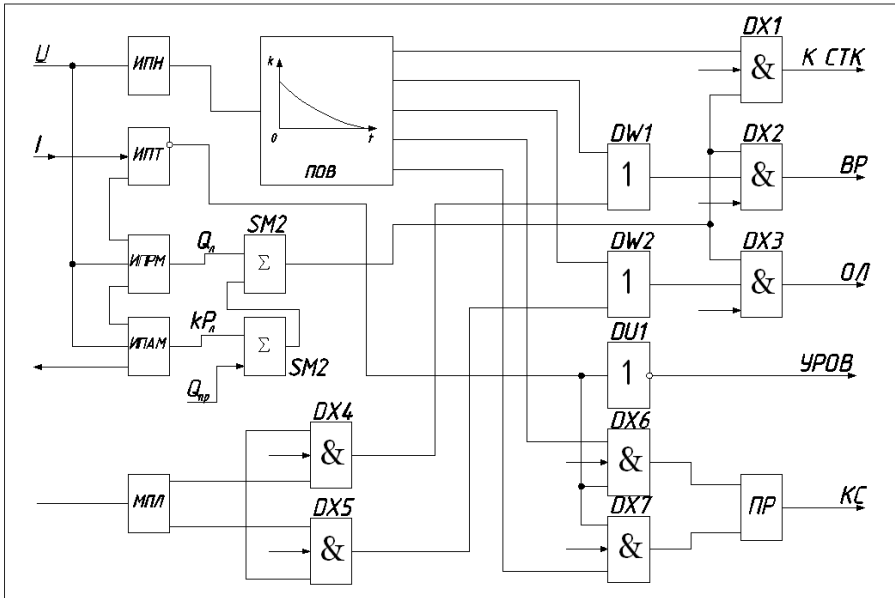


Рисунок 3.4 – Структурна схема мікропроцесорної автоматики обмеження підвищення напруги

Контрольні запитання

1. Яким чином реалізується автоматика трифазного повторного включення?
2. Як та на що діє автоматика при оцінці важності КЗ ?
3. Як діє автоматика при невдалому повторному включенні ?
4. Функціональна схема трифазного автоматичного повторного включення .
5. Для чого необхідна витримка часу для спрацьовування однофазного АПВ ?
6. Для чого використовується пристрій контролю гасіння електричної дуги ?
7. Які канали передбачаються в схемі мікропроцесорного модуля контролю гасіння дуги ?
8. Коли використовується канал контролю вдалого відключення ?

9. Функціональна схема мікропроцесорного модуля контролю гасіння дуги .
10. Яким чином автоматика обмеження підвищення напруги поділяється на ступені ?
11. На чому заснований алгоритм функціонування автоматики обмеження підвищення напруги ?
12. Як діє попередній ступінь автоматики обмеження напруги ?
13. Як діє перший ступінь автоматики обмеження напруги ?
14. Як діє другий ступінь автоматики обмеження напруги ?
15. Структурна схема автоматики обмеження підвищення напруги ?

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 Управление мощными энергосистемами. Под редакцией С.А.Совалова.- М.: Энергоатомиздат, 1984 – 245с
- 2 Овчаренко Н.И. Аппаратные и программные элементы автоматических устройств энергосистем.- М.: ЗАО «Издательство НЦЭНАС», 2004 – 508с
- 3 Баринов В.А., Совалов С.А. Режимы энергосистем: методы анализа и управления.- М.: Энергоатомиздат, 1990 – 439с
- 4 Голота А.Д. Автоматика в електроенергетичних системах. Київ: Вища школа, 2006 – 367с
- 5 Совалов С.А. Режимы единой энергосистемы. М.: Энергоатомиздат, 1983 – 384с