



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 90880

(13) C2

(51) МПК (2009)
H01H 9/54МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ МОМЕНТУ КОМУТАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОГО КОМУТАЦІЙНОГО АПАРАТА (ВАРІАНТИ) І ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО ЗДІЙСНЕННЯ

1

(21) а200708771
(22) 17.01.2006
(24) 10.06.2010
(86) РСТ/ЕР2006/050236, 17.01.2006
(31) 10 2005 005 228.2
(32) 31.01.2005
(33) DE
(46) 10.06.2010, Бюл.№ 11, 2010 р.
(72) ПІЛЬЦЬ ГЕОРГ, DE, ШЕГНЕР ПЕТЕР, DE, ВАЛЛЬНЕР КРИСТІАН, AT/DE
(73) СІМЕНС АКЦІЕНГЕЗЕЛЬШАФТ, DE
(56) US 2003/235017 A1, 25.12.2003
US 6 233 132 B1, 15.05.2001
(57) 1. Спосіб визначення моменту комутації електричного комутаційного апарата з розмикальним проміжком (1), який розташований між навантаженою живильною напругою (A1) першою ділянкою лінії (2) і утворюючою після процесу вимикання комутаційного апарата коливальний контур другою ділянкою лінії (3), який **відрізняється** тим, що після процесу вимикання електричного комутаційного апарата визначають тимчасову характеристику живильної напруги (A1), визначають тимчасову характеристику коливальної напруги, що з'являється в коливальному контурі після процесу вимикання електричного комутаційного апарата, визначають тимчасову характеристику результуючої напруги (C1), яка відповідає різниці живильної напруги (A1) і коливальної напруги (B1), і оцінюють принаймні одне наростання живильної напруги (A1) і принаймні одне наростання коливальної напруги (B1) і залежно від наростань і тимчасової характеристики результуючої напруги (C1) встановлюють момент комутації.
2. Спосіб визначення моменту комутації електричного комутаційного апарата з розмикальним проміжком (1), який розташований між навантаженою живильною напругою (A1) першою ділянкою лінії (2) і утворюючою після процесу вимикання комутаційного апарата коливальний контур другою ділянкою лінії (3), який **відрізняється** тим, що після процесу вимикання електричного комутаційного апарата визначають тимчасову характеристику живильної напруги (A1), визначають тимчасову характеристику коливальної напруги (B1), що з'являється в коливальному контурі після процесу вимикання електричного комутаційного апарата, ви-

2

значають тимчасову характеристику текучого в коливальному контурі після процесу вимикання електричного комутаційного апарата коливального струму (D), визначають тимчасову характеристику результуючої напруги (3), яка відповідає різниці живильної напруги (A) і коливальної напруги (B), оцінюють принаймні одне наростання живильної напруги (A) і принаймні одну полярність коливального струму (D); і в залежності від принаймні одного наростання живильної напруги (A) і принаймні однієї полярності коливального струму (D) і тимчасової характеристики результуючої напруги встановлюють момент комутації.

3. Спосіб за п. 1 або 2, який **відрізняється** тим, що для моменту комутації вибирають область проходження через нуль результуючої напруги (C, C1).

4. Спосіб за п. 1 або 3, який **відрізняється** тим, що для моменту комутації вибирають область проходження через нуль результуючої напруги (C, C1), в якій живильна напруга (A1) і коливальна напруга (B1) мають наростання з однаковим напрямом.

5. Спосіб за п. 2 або 3, який **відрізняється** тим, що для моменту комутації вибирають область проходження через нуль результуючої напруги (C), в якій живильна напруга (A) має негативне наростання і коливальний струм (D) має позитивну полярність або живильна напруга (A) має позитивне наростання і коливальний струм (D) має негативну полярність.

6. Спосіб за п. 5, який **відрізняється** тим, що коливальний струм протікає через компенсуючий дросель (6, 8, 9).

7. Спосіб за будь-яким з пп. 1-6, який **відрізняється** тим, що тимчасову характеристику коливальної напруги (B, B1) і/або коливального струму (D) визначають за допомогою методу Проні.

8. Спосіб за будь-яким з пп. 1-7, який **відрізняється** тим, що напруга, яку прикладають на розмикальному проміжку (1) після процесу вимикання, відповідає результуючій напрузі (C, C1).

9. Спосіб за будь-яким з пп. 1-8, який **відрізняється** тим, що при визначенні моменту комутації враховують характеристику попереднього пробного комутаційного апарата.

(13) C2

(11) 90880

(19) UA

10. Спосіб за будь-яким з пп. 1-9, який **відрізняється** тим, що при прогресуючому загасанні коливальної напруги (В, В1) і/або коливального струму (D) момент комутації встановлюють в області будь-якого проходження через нуль результуючої напруги (С, С1).

11. Спосіб за будь-яким з пп. 1-10, який **відрізняється** тим, що момент комутації використовують

для процесу вмикання електричного комутаційного апарату.

12. Пристрій для здійснення способу за будь-яким з пп. 1-11, який **відрізняється** тим, що містить блок (12) для порівняння наростання живильної напруги і коливальної напруги і/або полярності коливального струму.

Винахід стосується способу і пристрою для визначення моменту комутації електричного комутаційного апарату з розмикальним проміжком, який розташований між навантаженою живильною напругою першою ділянкою лінії і другою ділянкою лінії, яка створює після процесу вимикання комутаційного апарату коливальний контур.

Із статті "Analysis Power System Transients Using Wavelets and Prony Method", Lobos, T., Rezmer, J., Koglin, H.-J., Power Tech Proceedings, 2001 IEEE Porto, 10-13 вересня 2001 випливає, що якості напруги в мережі передачі електроенергії надається зростаюче значення. Форма хвилі змінної напруги ідеальним чином повинна бути синусоїдальною і коливатися із заданою частотою і амплітудою. За рахунок індуктивних і/або ємносних елементів проте в процесі комутації можуть з'являтися перехідні перенапруження. Подібні перехідні перенапруження накладаються на номінальну частоту і номінальну амплітуду і спотворюють бажану характеристику напруги.

Комутаційні операції часто є ініціюючим явищем для виникнення перенапружень.

В основі винаходу тому лежить задача показати спосіб і пристрій для визначення моменту комутації, за допомогою яких обмежують появу перехідних перенапружень або, відповідно, коливальних явищ в мережі передачі електроенергії.

В способі вище названого виду задача згідно з винаходом вирішується за рахунок того, що визначають тимчасову характеристику живильної напруги після процесу вимикання електричного комутаційного апарату, визначають тимчасову характеристику коливальної напруги, що з'являється в коливальному контурі після процесу вимикання електричного комутаційного апарату, визначають тимчасову характеристику результуючої напруги, яка відповідає різниці з живильної напруги і коливальної напруги, і оцінюють принаймні одне наростання живильної напруги і принаймні одне наростання коливальної напруги, і залежно від наростань і тимчасової характеристики результуючої напруги встановлюють момент комутації.

Далі задача згідно з винаходом вирішується також за рахунок того, що визначають тимчасову характеристику живильної напруги після процесу вимикання електричного комутаційного апарату, визначають тимчасову характеристику коливальної напруги, що з'являється в коливальному контурі після процесу вимикання електричного комутаційного апарату, визначають тимчасову характеристику коливального струму, що протікає

в коливальному контурі після процесу вимикання електричного комутаційного апарату, визначають тимчасову характеристику результуючої напруги, яка відповідає різниці з живильної напруги і коливальної напруги, оцінюють принаймні одне наростання живильної напруги і принаймні одну полярність коливального струму, і в залежності від принаймні одного наростання живильної напруги і принаймні однієї полярності коливального струму і тимчасової характеристики результуючої напруги встановлюють момент комутації.

Встановлена результуюча напруга внаслідок компонентів, що містяться в коливальному контурі, як котушки і конденсатори, може мати значно більш високі амплітуди напруги, ніж живильна напруга. Це пояснюється, зокрема, тим, що індуктивності і ємності є накопичувальними елементами, які викликають тимчасові затримки. При несприятливих комбінаціях це може приводити до значних перевищень пікових значень. Ці високі піки настільки діють негативно на систему ізоляції. Так ізоляція діелектрично навантажується сильніше, ніж за розрахункових умов. Це має слідством більш швидке старіння ізоляції. Зокрема, на ділянках ліній з твердою ізоляцією, як кабелі, це може приводити до погіршення тривалості служби. В екстремальних випадках піки напруги можуть бути настільки високими, що на лініях виникають пробої. Ці пробої можуть виявлятися, наприклад, у вигляді часткових розрядів або пробів на утримуючих ізоляторах повітроізованих дальніх ліній електропередачі. Особливо негативними є подібні явища проте в ізолюючих системах з твердою ізоляцією, як кабелі, оскільки там можуть утворюватися неусувні пошкодження. Тимчасова характеристика результуючої напруги тому є істотним критерієм для встановлення моменту комутації електричного комутаційного апарату. Додатково вибір моменту комутації можна оптимізувати таким чином, що враховують наростання, тобто градієнт крутизни живильної напруги, а також градієнт крутизни коливальної напруги, який утворюється в коливальному контурі. При цьому відповідно до певного моменту часу розглядають характеристику результуючої напруги і до того ж самого моменту часу оцінюють характеристику коливальної напруги або, відповідно, живильної напруги. Залежно від наростань живильної напруги або, відповідно, коливальної напруги і тимчасової характеристики результуючої напруги можна встановлювати момент комутації, в який поява перенапружень обмежується особливо ефективно. Разом з оцінкою

наростань живильної напруги і коливальної напруги принципово є також можливим використовувати наростання (градієнт крутизни) живильної напруги і полярність коливального струму як критерії вибору для встановлення моменту комутації в характеристиці результуючої напруги. Це є можливим тому, що залежно від встановлювального в коливальному контурі повного опору коливальний струм і коливальна напруга, що живить його, пов'язані одне з одним через рівняння

$$i = C \frac{du}{dt};$$

$$u = L \frac{di}{dt}.$$

Для визначення тимчасових характеристик живильної напруги, коливальної напруги, а також результуючої напруги або, відповідно, коливального струму можуть використовуватися різні способи. Так, наприклад, може бути передбачено розташовувати відповідно на першій ділянці лінії і на другій ділянці лінії вимірювальні пристрої, щоб визначати тимчасову характеристику необхідних параметрів. Для цього на відповідних ділянках лінії можуть бути використані, наприклад, перетворювачі струму і напруги. Для обмеження кількості перетворювачів струму або, відповідно, напруги можуть також знаходити вживання тільки окремі перетворювачі і з даних перетворювачів відповідно обчислюватися відсутні характеристики струму або, відповідно, напруги.

У відповідно оснащений устаткуванням установці можна таким чином проводити в режимі реального часу збір даних і визначати відповідні характеристики напруги/струму і встановлювати момент комутації. Наростання характеристик напруги можна, наприклад, визначати за допомогою диференціювання тимчасової характеристики у відповідний цікавий момент часу. За допомогою електронних пристроїв обробки даних протягом найкоротшого часу можна визначити першу похідну майже у будь-який момент часу і таким чином визначити наростання живильної напруги або, відповідно, коливальної напруги. При цьому може бути передбачено відповідно кількісне визначення наростання і тим самим легке визначення тенденцій в характеристиці наростання від одного тимчасового проміжку до наступного. Проте, можна також передбачати, виключно якісну оцінку наростання, тобто, чи є позитивне або негативне наростання або, відповідно, перевищені або занижені певні граничні значення. Полярність струму також є оцінюваною відносно її величини, що означає, можна проводити визначення значення коливального струму по абсолютній величині і положенню фази. Крім того, може бути передбачено, робити тільки висловлювання, чи має коливальний струм в певні моменти часу позитивне або негативне значення.

Переважаюча форма виконання винаходу може передбачати, крім того, що момент комутації лежить в області проходження через нуль результуючої напруги.

В промислових установках як живильну напругу часто застосовують змінну напругу або декілька

змінних напруг, які в загальній системі є зсунутими по фазі одна відносно одної. Системи з декількома змінними напругами, які знаходяться в залежності одна відносно одної, називаються також багатофазними системами змінної напруги. Живильна напруга, що подається на першу ділянку лінії, звичайно має постійну частоту. В промисловості переважно застосовують 16 2/3 Гц, 50 Гц, 60 Гц, а також інші діапазони частот. Внаслідок явищ накладання в коливальному контурі, викликаних за рахунок накопичувальних ланок або, відповідно, ланок тимчасової затримки, що містяться там, коливальна напруга може мати відрізняльну частоту, а також відрізняльні пікові абсолютні значення у порівнянні з живильною напругою. В області проходження через нуль результуючої напруги можна відповідно припускати якнайменші перенапруження в процесі комутації. Тому проходження через нуль результуючої напруги вибирають як переважні моменти комутації.

Переважаючим чином може бути далі передбачено, що для моменту комутації вибирають область проходження через нуль результуючої напруги, на якій живильна напруга і коливальна напруга мають наростання з однаковим напрямом.

Подальша переважна форма виконання може передбачати, що для моменту комутації вибирають область проходження через нуль результуючої напруги, на якій живильна напруга має негативне наростання і коливальний струм позитивну полярність або живильна напруга має позитивне наростання і коливальний струм негативну полярність.

Результуюча напруга має порівняно велику кількість проходжень напруги через нуль. При цьому виявилось, що деякі з цих проходжень напруги через нуль є більш сприятливим моментом комутації, ніж інші. Критерієм для вибору самих відповідних проходжень напруги через нуль для результуючої напруги є наростання живильних напруг, а також наростання коливальних напруг. Якщо наростання живильної напруги, а також коливальної напруги на проходженні через нуль результуючої напруги мають однаковий напрям, то це проходження через нуль є особливо придатним як момент комутації. При цьому однакові наростання означають, що живильна напруга, а також коливальна напруга мають відповідно позитивне наростання або відповідно негативне наростання. Крім того, в оцінку можна залучати також числову величину наростання і за рахунок цього проводити більш точне встановлення моменту комутації.

Оскільки в коливальному контурі коливальна напруга і живлений коливальною напругою коливальний струм знаходяться у співвідношенні одне з одним і можуть бути перетворені одне в одне обчислювальним шляхом, замість оцінки наростання коливальної напруги можливою є також оцінка полярності коливального струму. Особливо слушним моментом часу комутації є проходження через нуль результуючої напруги, на якій живильна напруга має негативне наростання, а коливальний струм має позитивну полярність, або на якій живильна напруга має позитивне наростання і коливальний струм має негативну полярність. При

зміні оцінки від коливальних напруг на коливальний струм, слід переходити до оцінки полярності, оскільки внаслідок індуктивностей, що містяться в коливальному контурі, або, відповідно, ємностей викликається зсув приблизно на 90 градусів між характеристиками струму і напруги всередині системи змінної напруги.

Наступна переважна форма виконання може передбачати, що коливальний струм тече через компенсуючий дросель.

В мережах передачі електроенергії використані, наприклад, повітряні лінії електропередачі. Між повітряною лінією електропередачі, що знаходиться під високою напругою, і потенціалом Землі, що є під повітряною лінією електропередачі, утворюється конденсаторний пристрій. За рахунок цього повітряна лінія електропередачі може діяти як конденсатор і вносити у повітряну лінію електропередачі відповідну зарядну потужність. Для обмеження цієї зарядної потужності по ходу повітряної лінії електропередачі можна встановлювати так звані компенсуючі дроселі. Ці компенсуючі дроселі є котушками, які мають відповідну індуктивність і які компенсують створену повітряною лінією електропередачі ємносне навантаження. Ці дроселі можуть бути виконані різним чином, так вони можуть, наприклад, при необхідності бути такими, що перемикаються відносно Землі або бути змінними по своїй індуктивності. Переважним чином дроселі, що підключаються, застосовують на початку, а також в кінці повітряної лінії електропередачі. Альтернативно подібні обставини, що склалися, можуть з'являтися також в підземних кабельних мережах, в яких між електричною жилою і кабельною оболонкою утворюється відповідний ємнісний опір на одиницю довжини лінії. Компенсуючими дроселями визначається і величина коливального струму на другій ділянці лінії. Внаслідок реально наявних схемних компонентів і наявного внаслідок застосованого провідникового матеріалу омичного опору це з'являються резистивні втрати, втрати на перемагнічування і т.д. так, що коливальний струм або, відповідно, коливальна напруга на другій ділянці лінії затухає.

Наступний переважний варіант виконання може передбачати, що тимчасову характеристику коливальної напруги і/або коливального струму визначають за допомогою методу Проні.

У включеному комутаційному апараті розмикальний проміжок є замкнутим. Перша ділянка лінії з живильною напругою подає струм на другу ділянку лінії. Живильну напругу виробляють, наприклад, за допомогою генератора на електростанції. Внаслідок прикладеної живильної напруги вона розповсюджується також на другій ділянці лінії. На другій ділянці лінії звичайно підключені споживачі. Це можуть бути, наприклад, двигуни, нагрівальні прилади або також комплектні ділянки мережі, як промислові споживачі або велика кількість побутових споживачів електроенергії. Після процесу вимикання живильна напруга все ще є тільки на першій ділянці лінії, оскільки розмикальний проміжок є відкритим і живильна напруга більше не може розповсюджуватися на другій ділянці лінії. На першій ділянці лінії знаходяться звичайно енергови-

робляючі пристрої, наприклад, живильні мережі електропостачання з відповідними генераторами або, відповідно, електростанціями. На другій ділянці мережі обставинам, що відповідно склалися, з омичними, індуктивними або, відповідно, ємнісними складовими внаслідок миттєвого відключення розмикального проміжку і пов'язаних з цим тимчасових змін встановлюється коливальна напруга, яка збуджує коливальний струм. Визначення тимчасової характеристики живильної напруги при цьому є відносно простим, оскільки можна виходити з мережі незмінної напруги, при якій живильна напруга є визначальною величиною, яка залишається приблизно постійною. Більш проблематично складається визначення характеристики коливального струму або, відповідно, коливальної напруги в коливальному контурі. Для того, щоб мати відповідну тимчасову характеристику, є бажаним з визначених всередині короткого інтервалу вимірюваних значень визначити надійний прогноз характеристики для одного або декількох лежачих в майбутньому інтервалів. Для цього можна використовувати, наприклад, метод Проні.

У порівнянні з іншими методами, наприклад перетворенням Лапласа, метод Проні дає перевагу з невеликої кількості вимірюваних значень зробити можливим порівняно точний прогноз наступних характеристик напруги або, відповідно, струму.

Метод Проні є особливо придатним для реалізації керованої комутації, оскільки у порівнянні з перетворенням Фур'є проміжок часу опитування наявних даних напруги і/або струму є незалежним від очікуваного основного коливання. Крім того, при вживанні методу Проні є можливим довільне визначення зсуву фаз і загасання окремих частотних складових. Для вживання методу Проні спочатку слід визначити дані напруги і/або струму, що мають місце в різні моменти часу в електричній мережі. Для цього виходять з N комплексних точок даних $x[1], \dots, x[N]$ будь-якої синусоподібної або експоненціально згасаючої події. Ці точки даних повинні бути еквідистантними точками даних. Цей опитаний процес може бути описаний за допомогою підсумовування р експоненціальних функцій

$$y[n] = \sum_{k=1}^p A_k \exp[(\alpha_k + j2\pi f_k)(n-1)T + j\theta_k], \quad (2.1)$$

причому

T - період опитування в с

A_k - амплітуда комплексної експоненти

α_k - коефіцієнт загасання в s^{-1}

f_k - частота синусоїдального коливання в Гц

θ_k - зсув фаз в радіанах.

У разі реально опитаної характеристики комплексні експоненти розпадаються на сполучні комплексні пари з однаковою амплітудою. Це приводить рівняння (2.1) до

$$y[n] = \sum_{k=1}^{p/2} 2A_k \exp[\alpha_k(n-1)T] \cos[2\pi f_k(n-1)T + \theta_k] \quad (2.2)$$

для $1 \leq n \leq N$. Якщо число експоненціальних функцій p є парним, тоді мають місце p/2 згасаючих косинусоїдальних функцій. Якщо число експоненціальних функцій p є непарним, тоді існують (p-1)/2 згасаючих косинусоїдальних функцій і дуже сла-

бо затухаюча експоненціальна функція.

Більш просте представлення рівняння (2.1) одержують за допомогою об'єднання параметрів на залежні від часу і незалежні від часу.

$$y[n] = \sum_{k=1}^p h_k z_k^{n-1} \quad (2.3)$$

$$h_k = A_k \exp(j\theta_k) \quad (2.4)$$

$$z_k = \exp[(\alpha_k + j2\pi f_k)T] \quad (2.5)$$

Параметр h_k є комплексною амплітудою і є незалежною від часу постійною. Комплексна експонента z_k є залежним від часу параметром.

Щоб мати нагоду моделювати реальний процес за допомогою підсумовування, необхідно мінімізувати середню квадратичну помилку p по N опитаних точках даних.

$$p = \sum_{n=1}^N |\varepsilon[n]|^2 \quad (2.6)$$

$$\varepsilon[n] = x[n] - y[n] = x[n] - \sum_{k=1}^p h_k z_k^{n-1} \quad (2.7)$$

Ця мінімізація відбувається з урахуванням параметрів h_k , z_k і p . Це приводить до складної нелінійної проблеми, навіть якщо число p експоненціальних функцій є відомим [порівняйте Marple, Lawrence: Digital Spectral Analysis. London: Prentice-Hall International, 1987]. Однією можливістю був би ітеративний спосіб рішення (спосіб Ньютона). Це, звичайно, припускало б великі обчислювальні можливості, оскільки часто повинні інвертуватися матриці, які часто є більшими, ніж число точок даних. Для ефективного вирішення цієї проблеми служить метод Проні, який використовує для вирішення лінійні рівняння. При цьому методі нелінійний аспект експоненціальних функцій враховують за допомогою поліноміальної факторизації. Для цього виду факторизації існують швидкі алгоритми рішення.

Метод Проні

Для апроксимації характеристики є необхідним зібрати так багато точок даних, щоб однозначно визначити параметри. Це означає, що відповідно потрібні принаймні $x[1], \dots, x[2p]$ комплексних точок даних.

$$x[n] = \sum_{k=1}^p h_k z_k^{n-1} \quad (2.8)$$

Слід врахувати, що було використано $x[n]$ замість $y[n]$. Це відбувається, оскільки потрібні точно $2p$ комплексних точок даних, які відповідають експоненціальній моделі з $2p$ комплексних параметрів h_k і z_k . Ця залежність виражена в рівнянні (2.6) шляхом мінімізації квадратичної помилки.

В рівнянні (2.8) представлена ціль алгоритму Проні. Докладне представлення рівняння для $1 \leq n \leq p$ представлено в рівнянні (2.9).

$$\begin{pmatrix} z_1^0 & z_2^0 & \dots & z_p^0 \\ z_1^1 & z_2^1 & \dots & z_p^1 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ z_1^{p-1} & z_2^{p-1} & \dots & z_p^{p-1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x[1] \\ x[2] \\ \vdots \\ x[p] \end{pmatrix} \quad (2.9)$$

У разі, коли елементи z всередині матриці відомі, одержується кількість лінійних рівнянь, за допомогою яких можна обчислити комплексний вектор амплітуди h .

Як початкова ідея способу рішення виходять з того, що рівняння (2.8) є рішенням однорідного лінійного рівняння в кінцевих різницях з постійними коефіцієнтами. Щоб знайти відповідне рівняння для вирішення, спочатку визначають поліном $\phi(z)$ ступеня p .

$$\phi_p(z) = a[0]z^p + a[1]z^{p-1} + \dots + a[p-1]z + a[p] \quad (2.10)$$

Підлягаючий визначенню параметр z указує нульові точки полінома.

Представлення полінома як суми відбувається за допомогою основної теореми алгебри (рівняння 2.11). Коефіцієнт $a[m]$ є комплексним і визначається як $a[0]=1$

$$\phi_p(z) = \sum_{m=0}^p a[m]z^{p-m} \quad (2.11)$$

За допомогою зсуву індексу рівняння (2.8) від n до $n-m$ і помноження з параметром $a[m]$ одержують

$$a[m]x[n-m] = a[m] \sum_{k=1}^p h_k z_k^{n-m-1} \quad (2.12)$$

Якщо утворюють прості добутки ($a[0]x[n]a[m-1]x[n-m+1]$) і їх підсумовують, то з рівняння (2.12) одержують

$$\begin{aligned} a[0]x[n] &= a[0] \sum_{k=1}^p h_k z_k^{n-1} \\ a[1]x[n-1] &= a[1] \sum_{k=1}^p h_k z_k^{n-2} \\ a[2]x[n-2] &= a[2] \sum_{k=1}^p h_k z_k^{n-3} \\ &\vdots \\ a[m]x[n-m] &= a[m] \sum_{k=1}^p h_k z_k^{n-m-1} \end{aligned} \quad (2.13)$$

$$\sum_{m=0}^p a[m]x[n-m] = \sum_{m=0}^p [a[m] \sum_{k=1}^p h_k z_k^{n-m-1}]$$

За допомогою перетворення правої сторони рівняння (2.13) виходить

$$\sum_{m=0}^p a[m]x[n-m] = \sum_{k=1}^p [h_k \sum_{m=1}^p a[m]z_k^{p-m-1}] \quad (2.14)$$

Шляхом підстановки $z_i^{n-m-1} = z_i^{n-p} z_i^{p-m-1}$ одержують

$$\sum_{m=0}^p a[m]x[n-m] = \sum_{k=1}^p [h_k z_k^{n-p} \sum_{m=1}^p a[m]z_k^{p-m-1}] = 0 \quad (2.14)$$

В правій частині суми знову визначають поліном з рівняння (2.11). Шляхом визначення всіх коренів z_k одержують необхідні нульові точки. Рівняння (2.15) є необхідним лінійним рівнянням в кінцевих різницях, рішенням якого є рівняння (2.8). Поліном (2.11) є характеристичним рівнянням до рівняння в кінцевих різницях.

p рівняння є допустимими значеннями для $a[m]$, які вирішують рівняння (2.15).

$$\begin{pmatrix} x[p] & x[p-1] & x[p-2] & \dots & x[0] \\ x[p+1] & x[p] & x[p-1] & \dots & x[1] \\ x[p+2] & x[p+1] & x[p] & \dots & x[2] \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x[2p-1] & x[2p-2] & x[2p-3] & \dots & x[p] \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a[0] \\ a[1] \\ a[2] \\ \vdots \\ a[p] \end{pmatrix} = 0 \quad (2.16)$$

В рівнянні (2.16) існують p невідомих. Матриця x складається з $p+1$ рядків і стовпців. Рівняння (2.16) є таким чином перевизначеним. Щоб отримати вектор рішення, верхню строчку матриці x , і тим самим також відомий коефіцієнт $a[0]$, викреслюють і віднімають перший стовпець.

$$\begin{pmatrix} x[p] & x[p-2] & \dots & x[1] \\ x[p+1] & x[p] & \dots & x[2] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x[2p-1] & x[2p-2] & \dots & x[p] \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a[1] \\ a[2] \\ \vdots \\ a[2p] \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} x[p+1] \\ x[p+2] \\ \vdots \\ x[2p] \end{pmatrix} \quad (2.17)$$

За допомогою p рівнянь можуть бути визначені p невідомих.

Так метод Проні може бути узагальнений в трьох кроках.

Рішення рівняння (2.17) => отримання коефіцієнтів полінома (2.11).

Обчислення коренів полінома рівняння (2.11) => отримання залежного від часу параметра z_k з рівняння (2.8) => обчислення загасання і частоти z

$$\alpha_k = \ln|z_k|/T \quad (2.18)$$

$$f_k = \tan^{-1}[\operatorname{Im}(z_k)/\operatorname{Re}(z_k)]/[2\pi T] \quad (2.19)$$

Складання рівняння (2.9) => рішення по h => Обчислення амплітуди і зсуви фаз

$$A_k = |h_k| \quad (2.20)$$

$$\theta_k = \tan^{-1}[\operatorname{Im}(h_k)/\operatorname{Re}(h_k)] \quad (2.21)$$

Для оцінки майбутньої тимчасової характеристики не є необхідним визначення окремих параметрів. "Попередній перегляд" подальшого проходження вхідного сигналу також є можливим за допомогою параметрів z_k і h_k рівняння (2.8) і зміни змінної n , яка відображає підлягаючий оцінці проміжок часу. При зміні величини тимчасового кроку оцінки у порівнянні з опитуванням, проте, повинні визначатися параметри загасання, частота, амплітуда і зсув фаз.

Подальшою перевагою методу Проні для аналізу характеристик струму і/або напруги є те, що він є застосовним також для більш високочастотних процесів. Під більш високочастотними процесами слід розуміти процеси, які коливаються в діапазоні 100-700 Гц. Діапазон промислових частот охоплює частоти між 24 і 100 Гц. Під 24 Гц слід розуміти низькі частоти. Високочастотні процеси виникають, наприклад, при перемиканні комутаційних апаратів. Високочастотні складові накладаються на основне коливання.

Далі переважним чином може бути передбачено, що для переробки певних даних напруги і/або струму застосовують модифікований метод

Проні.

Модифікований метод Проні має схожість з принципом максимуму правдоподібності (Гаусівський принцип найменших квадратів). При обчисленні виходять з постійного p (число експоненціальних функцій, див. вище). Під час обчислення здійснюють ітераційний спосіб, за рахунок чого оптимізується точність підлягаючих попередньому визначенню характеристик напруги і/або струму. За рахунок встановлення границь допуску для оптимізації можна змінювати ступінь точності попереднього визначення. При необхідності за рахунок цього можна зменшувати необхідний час обчислень. Модифікований метод Проні детально представлений в публікації Osborne, Smyth: A modified Prony Algorithm for fitting functions defined difference equations, SIAM Journal Scientific and Statistical Computing, том 12, 362-382, березень 1991. Модифікований метод Проні є нечутливим відносно "шуму" визначених з електричної енергомережі даних напруги і/або струму. Подібний "шум" є неминучим при вживанні реальних компонентів для одержання даних напруги і/або струму. Подібні перешкоди можуть бути мінімізовані тільки з неспівмірно високими витратами. За рахунок нечутливості вхідних сигналів відносно "шуму" при вживанні модифікованого методу Проні можливо використання більш економічних з точки зору витрат вимірювальних приладів для визначення даних напруги і/або струму, що мають місце в електричній мережі.

Може бути передбачено передбачати пристрій для здійснення описаного вище способу, який містить засоби для автоматизованої обробки даних напруги і/або струму із застосуванням методу Проні.

Оскільки розглянуті процеси відбуваються в інтервалах декількох мілісекунд, пристрій із засобами для автоматизованої обробки даних напруги і/або струму виявляється переважним. Щоб проводити цю автоматизовану обробку особливо швидко може бути передбачено, що засоби для автоматизованої обробки виконані з програмованим схемним монтажем. Подібні схеми є відомими як спеціалізовані інтегральні схеми (ASIC). Якщо, проте, у розпорядженні є достатньо швидкі засоби автоматизованої обробки, то вони можуть бути виконані з програмованою пам'яттю. Подібні засоби з програмованою пам'яттю для автоматизованої обробки можна пристосовувати простим чином до крайових умов, що змінюються, за рахунок нових програмувань.

Наступна переважна форма виконання може передбачати, що прикладена на розмикальному проміжку після процесу вимикання напруга відповідає результуючій напрузі.

Розмикальний проміжок повинен викликати в процесі вмикання або, відповідно, вимикання можливо швидко зміну повного опору від ідеальним чином нескінченно великого повного опору до нескінченно малого повного опору або, відповідно, навпаки. Ідеальним чином це повинно відбуватися стрибкоподібно. В даних технічних системах це,

проте, не так. В області високої напруги використовуються комутаційні елементи з рухомими відносно одна до одної контакт-деталлями, які знаходяться всередині ізоляційного газу. Цей ізоляційний газ є переважно шестифтористою сіркою, яка знаходиться при підвищеному тиску. В процесі вмикання, наприклад, вже перед безпосереднім торканням рухомих відносно одна до одної контакт-деталей виникає попередній пробій. В процесі вимикання після гасіння електричної дуги вимикання, яка може виникати після фізичного роз'єднання рухомих відносно одна до одної контакт-деталей, потрібен певний час для відновлення електричної міцності, під час якого забруднений дугогасильний газ, що утворюється в розчині контактів, видаляють з розчину контактів і замінюють незараженим ізолюючим газом.

Результуюча напруга, яка утворюється на розмикальному проміжку, одержується з прикладеної на одній стороні розмикального проміжку живильної напруги і з прикладеної на іншій стороні розмикального проміжку коливальної напруги. Оскільки, як обговорювалося вище, при появі коливальних процесів в коливальному контурі виникають тимчасові затримки, на розмикальному проміжку можуть з'являтися значно більш високі абсолютні значення напруги, ніж це можна припускати із знання розрахункової напруги живильної напруги. Тому результуюча напруга, яка встановлюється на розмикальному проміжку електричного комутаційного апарату, є істотною величиною, яка служить для встановлення моменту комутації електричного комутаційного апарату. Також перенапруження повинне надійно витримуватися електричним комутаційним апаратом.

Переважає чиним при цьому далі може бути передбачено, що при визначенні моменту комутації враховують характеристику попереднього пробію комутаційного апарату.

Разом зі встановленням переважного моменту комутації слід враховувати, що реальні комутаційні апарати мають характеристику попереднього пробію. Ще до того, як відбувається торкання двох рухомих відносно одна до одної контакт-деталей, ізолююче середовище, що лежить між контакт-деталлями, вже пробивається електричною дугою. Яким чином силовий вимикач схильний до попереднього пробію, залежить від конструкції і від ходу контактів комутаційного апарату. Ідеальним чином цей попередній пробій не повинен мати місця, тобто в націлено керований момент контакту відбувається механічний контакт контакт-деталей і замикання струмового ланцюга. Ця ідеальна подія на практиці проте не може бути досягнута так, що для кожного комутаційного апарату існує так звана характеристика попереднього пробію. Вона має відому крутизну і при відомих обставинах дозволяє розпізнати точку перетину між характеристикою пробію і характеристикою напруги. У цей момент часу попередній пробій відбувається також у випадку, коли контакт-деталі ще не знаходяться у безпосередньому з'єднанні.

Подальша переважна форма виконання може передбачати, що при прогресуючому загасанні коливальної напруги і/або коливального струму

момент комутації встановлюють в області будь-якого проходження через нуль результуючої напруги.

Внаслідок реальних схемних елементів, що містяться в коливальному контурі, як конденсатори, котушки і омичні опори, відбувається загасання коливальної напруги або, відповідно, коливального струму в коливальному контурі. Якщо загасання є настільки сильним, що визначення за допомогою вимірювальної техніки, що має сенс, більше не є можливим, то можна відмовитися від оцінки наростання коливальної напруги або, відповідно, живильної напруги або, відповідно, полярності коливального струму. Для забезпечення можливо швидкої комутації тоді орієнтуються тільки на проходження через нуль результуючої напруги і перемикають при найближчому можливому проходженні через нуль результуючої напруги. При прогресуючому загасанні коливальної напруги і/або коливального струму наслідками перевищення напруги на розмикальному проміжку електричного комутаційного апарату можна нехтувати.

Далі може бути переважним чином передбачено, що момент комутації використовують для процесу вмикання електричного комутаційного апарату.

В мережах передачі електроенергії застосовані так звані пристрої захисту, які у разі появи несправності, автоматично ініціюють процес вимикання електричного комутаційного апарату. Часто ці процеси вимикання викликаються несправностями, що спорадично з'являються. Деякі несправності, що спорадично з'являються, дозволяють швидко повторне вмикання. Типова спорадична несправність має місце, наприклад, в області повітряних ліній. Який-небудь предмет, наприклад, гілка дерева, викликає коротке замикання на лінії. Подія, що викликає коротке замикання, проте, є тільки короткочасною так, що після усунення несправності (повітряна ізоляція між лініями і віткою знову відновлена, подія короткого замикання вже пройшла) можна проводити повторне вмикання лінії. Подібні вмикання є також відомими як автоматичні повторні вмикання (АПВ). Ці автоматичні повторні вмикання проводять в інтервали часу від 300 до приблизно 500мс, тобто після вимикання електричного комутаційного апарату, що відбулося, протягом часу максимально 300 (500) мс ініціюють автоматичне повторне вмикання комутаційного апарату. Внаслідок порівняно короткого інтервалу в межах виникаючого при цьому коливального контуру можуть утворюватися високі коливальні напруги або, відповідно, коливальні струми. Зокрема, для автоматичного повторного вмикання і, відповідно, вмикання комутаційного апарату незабаром після вимикання, що відбулося, має значення визначення відповідного моменту комутації, щоб уникнути пробію внаслідок перевищень напруги на розмикальному проміжку електричного комутаційного апарату. Обмежуючі перенапруження опори на електричному комутаційному апараті більше не є необхідними або, відповідно, можуть вибиратися з меншими параметрами.

Винахід далі стосується також пристрою для здійснення названого на початку способу.

Винахід ставить тут перед собою задачу створення пристрою, який робить можливим вибір моменту комутації.

Згідно з винаходом це вирішується в пристрої для здійснення способу згідно з пунктами 1-11 формули винаходу за рахунок того, що пристрій містить блок для порівняння наростання живильної напруги і коливальної напруги і/або полярності коливального струму.

Блок для порівняння наростання живильної напруги і коливальної напруги або, відповідно, полярності коливального струму дозволяє простий вибір потенційних моментів комутації в проходженнях через нуль результуючої напруги. Результатом подібного порівняння може бути, наприклад, рішення «Та» або «Ні» відносно допускання процесу комутації.

Приклади виконання винаходу схематично представлені на Фігурах, а також більш детально описані далі.

При цьому показують:

Фіг.1 - принципове представлення характеристики напруги з оптимальними моментами комутації,

Фіг.2 - схематична побудова мережі передачі електроенергії,

Фіг.3 - характеристики двох різних результуючих напруг,

Фіг.4 - характеристика різних напруг і струмів,

Фіг.5 - характеристика різних напруг,

Фіг.6 - показує часовий хід процесу для визначення майбутньої характеристики напруги струму,

Фіг.7 - показує урахування характеристики попереднього пробою при навантаженні ємності,

Фіг.8 - показує використання характеристики попереднього пробою при індуктивному навантаженні розмикального проміжку електричного комутаційного апарату і

Фіг.9 - блок для порівняння наростань характеристик напруги.

Фіг.1 показує як приклад синусоїдальне проходження змінної напруги з частотою 50Гц. Щоб уникнути виникнення перенапружень, індуктивні навантаження повинні по можливості вмикатися відповідно в максимумі напруги синусоїдальної характеристики напруги (моменти часу 5мс, 15мс). У протилежність цьому ємнісні навантаження повинні б включатися під час проходження напруги через нуль, щоб виключити процеси заряду на конденсаторі (моменти часу 0мс, 10мс, 20мс).

В реальній мережі передачі електроенергії, проте, ідеальну появу синусоїдальних характеристик напруги можна спостерігати тільки у виняткових випадках.

На Фіг.2 представлена принципова побудова ділянки лінії всередині мережі передачі електроенергії. Електричний комутаційний апарат має розмикальний проміжок 1. Розмикальний проміжок утворений, наприклад, з двох рухомих відносно одна до одної контакт-деталей. Через розмикальний проміжок 1 перша ділянка лінії 2, а також друга ділянка лінії 3 можуть з'єднуватися одна з одною або, відповідно, відокремлюватися. Перша ділянка лінії 2 містить генератор 4. Генератор 4 поставляє живильну напругу, яка є, наприклад, змінною на-

пругою з частотою 50Гц багатозафазної системи напруг. Друга ділянка лінії 3 містить повітряну лінію 5. Повітряна лінія 5 на своєму першому кінці є з'єднуваною з першим дроселем 6 відносно потенціалу Землі 7 і на своєму другому кінці через другий дросель 8 відносно потенціалу Землі 7. Додатково може бути також передбачено підключення наступного дроселя 9 до другого дроселя 8. За рахунок різних комутаційних пристроїв 10 дроселі 6, 8, 9 у різних варіантах є з'єднуваними відносно потенціалу Землі 7. Тим самим можливо, залежно від ситуації навантаження, компенсувати повітряну лінію в різному ступені. Так ємнісний опір X_C

$$\left(X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} \right)$$

повітряної лінії може бути перекомпенсованим або також недокомпенсованим за допомогою індуктивного опору X_L $\left(X_L = j \cdot \omega \cdot L \right)$ дроселів. Через співвідношення опору ємності X_C повітряної лінії і індуктивного опору X_{Lres} всіх дроселів є визначуваним ступінь компенсації k . Для встановлення ступеня компенсації k дроселі 6, 8, 9 є такими, що підключаються відносно один до одного різним способом. Проте може бути також передбачено, що дроселі мають регульований індуктивний опір X_L . Для цього можуть застосовуватися, наприклад, дроселі з сердечником, що втягується.

На другій ділянці лінії 3 після відкриття розмикального проміжку 1 через потенціал Землі 7 може утворюватися коливальний контур. Для утворення коливального контура в другій ділянці лінії 3 відносно потенціалу Землі 7 повинні утворюватися відповідні ланцюги струму через комутаційні пристрої 10. Через індуктивні і ємнісні опори утворюється коливальний контур і в коливальному контурі може текти коливальний струм, який живиться коливальною напругою.

На Фіг.3 як приклад представлено результуючі характеристики напруг при різних ступенях компенсації, що утворюються на розмикальному проміжку 1. При компенсації $k=0,8$ встановлюється певна частотна характеристика, яка містить безліч проходжень напруги через нуль. Ця частотна характеристика має биття. При компенсації 0,3 встановлюється відповідно частотна характеристика, що відхиляється і, проте, знову-таки містить безліч проходжень напруги через нуль.

При застосуванні способу згідно з винаходом передбачені дотепер для обмеження перенапружень опору вмикання можуть бути зменшені або, відповідно, від них можна повністю відмовитися. Внаслідок визначення оптимального моменту часу повторного вмикання, таким чином, можуть бути досягнуті кращі комутаційні результати, тобто з'являються менші перехідні перенапруження, ніж у разі довільно керованого підключення електричного комутаційного апарату з опорами вмикання.

Фіг.4 показує оцінку і встановлення моменту комутації електричного комутаційного апарату при використуванні живильної напруги А, коливальної напруги В, результуючої напруги С, а також коливального струму D. Живильна напруга А коливається з постійною частотою і постійною амплітудою. Коливальна напруга В, що встановлюється

в коливальному контурі на другій ділянці лінії 3, коливається з певною частотою, причому вона є такою, що змінюється, і з амплітудою, що змінюється. Ця змінюваність обумовлена тим, що в системі з'являється загасання і що можуть з'являтися додаткові накладення зовнішніх впливів. З накладення прикладеного на першій ділянці лінії 2 живильної напруги А і коливальні напруги В, що встановлюється на другій ділянці лінії 3, виникає тимчасова характеристика результуючої напруги С. Результуюча напруга С відповідає напрузі, прикладеній на відкритому розмикальному проміжку. На Фіг.4 виразно видно, що результуюча напруга С коливається з амплітудою, яка явно змінюється, і що має місце зсув по фазі як відносно живильної напруги А, так і коливальної напруги В.

Потенційні моменти комутації є на проходженнях через нуль результуючої напруги С. Проходження напруги через нуль для кращого розпізнавання на характеристиці результуючої напруги С відзначені хрестиками. Проте не всі проходження через нуль результуючої напруги С є придатними для процесу повторного вмикання розмикального проміжку 1. Як критерії вибору в представлених на Фіг.4 прикладах разом з тим привертають полярність коливального струму D. Для кращого розпізнавання полярність коливального струму D маркована плюсом або, відповідно, мінусом у відповідних інтервалах між проходженнями через нуль коливального струму D. В першому проходженні через нуль результуючої напруги С має місце позитивна полярність коливального струму D, а також позитивне наростання живильної напруги А, тобто перше проходження через нуль результуючої напруги С не придатне для процесу вмикання. В чотирнадцятому проходженні через нуль результуючої напруги С має місце негативне наростання живильної напруги А і коливальний струм D має позитивну полярність, тобто між проходженнями напруги через нуль чотирнадцяте проходження через нуль результуючої напруги С є особливо придатним для процесу повторного вмикання. Перше і чотирнадцяте проходження напруги через нуль при цьому залучені тільки як приклад. Крім того можуть бути також ще особливо придатними інші проходження напруги через нуль, щоб викликати процес вмикання на розмикальному проміжку 1. Вони можуть знаходитися всередині представленого на Фіг.4 інтервалу або також лежати зовні цього інтервалу.

На Фіг.5 представлений альтернативний спосіб вибору, причому А1 зображає тимчасову характеристику живильної напруги, В1 - тимчасову характеристику коливальної напруги і С1 результуючу напругу на розмикальному проміжку. Результуюча напруга С1 виходить з різниці потенціалів між прикладеною на першій ділянці лінії 2 живильною напругою А1 і прикладеною на другій ділянці лінії 3 розмикального проміжку 1 коливальною напругою В1. Проходження через нуль результуючої напруги С1 є знову-таки потенційними моментами комутації. Для вибору самих придатних проходжень через нуль результуючої напруги С1 відповідно оцінюють наростання (градієнти підйому) в ці моменти часу. У момент часу t_1 як

живильна напруга А1, так і коливальна напруга В1 мають негативне наростання, тобто цей момент часу є особливо придатним для процесу повторного вмикання. У момент часу t_2 живильна напруга А1 має негативне наростання, а результуюча напруга С1 має позитивне наростання, тобто момент часу t_2 і проходження через нуль результуючої напруги С1, що відбулося у цей момент час, не є придатним для процесу повторного вмикання. Більш того кожне наступне проходження через нуль результуючої напруги можна класифікувати по відповідних наростаннях живильної напруги і коливальної напруги так, що виходять ще інші придатні або, відповідно, непридатні для процесу повторного вмикання проходження через нуль результуючої напруги.

На Фіг.6 представлена тимчасова послідовність опитування X, обчислення Y, контролю Z, повторного обчислення U або, відповідно, тимчасового інтервалу для ініціації V. Щоб мати нагоду проводити в інтервалі від 300 до приблизно 500мс, наприклад, автоматичне повторне вмикання, необхідно наперед визначати характеристику напруги для результуючої напруги. У момент часу $t=0$ мс при цьому передбачається відкриття розмикального проміжку електричного комутаційного апарату. Протягом перших 50мс відбувається опитування або, відповідно, визначення характеристики живильної напруги, коливальної напруги або, відповідно, коливального струму, що встановлюється, і визначення результуючої напруги при знанні характеристики напруги живильної напруги. Протягом інтервалу часу від 50 до 100мс відбувається обчислення майбутньої характеристики коливальної напруги або, відповідно, коливального струму і звідси майбутньої характеристики напруги результуючої напруги.

Протягом інтервалу часу від 100 до 150мс існує можливість порівняння визначених обчислювальним шляхом значень для коливальної напруги, коливального струму або, відповідно, результуючої напруги, живильної напруги відносно їх тимчасового проходження з реально встановленими значеннями. При підтвердженні визначених обчислювальним шляхом значень протягом передбаченого для контролю відрізка часу виходять з коректного попереднього обчислення характеристик сигналів. Для обчислення можуть застосовуватися, наприклад, метод Проні або тому подібні способи. При встановленні помилкового попереднього обчислення тимчасових характеристик в розпорядженні є ще інтервал часу від 150 до 200мс, в якому за допомогою визначених протягом інтервалу часу від 0 до 150мс характеристик напруги або, відповідно, струму в реальній мережі може відбуватися повторне обчислення майбутніх характеристик напруги або, відповідно, струму. Внаслідок більшого інтервалу часу від 0 до 150мс і наявних у великій кількості вимірних значень можна виходити з більш точного обчислення майбутньої тимчасової характеристики струмів або, відповідно, напруг. Залежно від проходжень через нуль результуючої напруги, а також наростань коливальної напруги і живильної напруги або, відповідно, живильної напруги і полярності коливаль-

ного струму, що встановлюється, тепер можна визначити ідеальний момент комутації. Залежно від моменту комутації тепер можлива тимчасова підготовка для видання ініціюючого сигналу, причому можна враховувати характеристику попереднього пробію застосованого розмикального проміжку 1 так, щоб найпізніше через 300 або, відповідно, 500мс повторне вмикання розмикального блоку відбулося у момент часу, в який перевищення напруг всередині мережі передання електроенергії є обмеженим. Особливо швидко повторне вмикання може відбуватися тоді, коли представлені на Фіг.4 і 5 як приклад тимчасові характеристики заздалегідь обчислюють протягом дуже короткого інтервалу (50мс або менше). За рахунок цього попереднього визначення стає можливим достатній час підготовки, в який можуть бути затактовані всі необхідні часи очікування або часи спрацювання. Так, наприклад, можна запланувати час, який є необхідним від генерації ініціюючого сигналу до надходження сигналу на запусковий блок електричного комутаційного апарату з його розмикальним проміжком 1. Крім того, можна враховувати також характеристику попереднього пробію розмикального проміжку 1. Таким чином стає можливою ще більш точна синхронна комутація.

На Фіг.7 і 8 представлена відповідно характеристика попереднього пробію 11 розмикального проміжку 1. Характеристика попереднього пробію 11 представлена тут спрощено у вигляді лінійної характеристики, яка має певну крутизну. На Фіг.7 повинне комутуватися навантаження ємності, наприклад, ненавантажений кабель. Як представлено на Фіг.1, навантаження ємності повинне комутуватися переважно протягом проходження напруги через нуль. На Фіг.7 напруга має синусоподібну характеристику. Характеристика попереднього пробію 11 є при цьому настільки крутою, що точка перетину характеристики напруги і характеристики попереднього пробію 11 ідеальним чином

співпадають в проходженні напруги через нуль. У разі більш плоскої характеристики попереднього пробію 11а точка перетину характеристики попереднього пробію 11а і характеристики напруги має місце приблизно у момент часу 5мс, тобто вже у цей момент встановився б попередній пробій, внаслідок чого ідеальний момент введення електричного струму зміщується вперед до проходження напруги через нуль. Тим самим для ідеального моменту вмикання навантаження ємності повинен застосовуватися електричний комутаційний апарат, який має порівняно круту характеристику попереднього пробію. В представленому на Фіг.7 прикладі виконання з характеристикою попереднього пробію 11 гальванічний контакт контакт-деталей і попередній пробій співпадають у момент часу 10мс і дозволяють проводити практично вільну від перенапружень комутацію електричного комутаційного апарату.

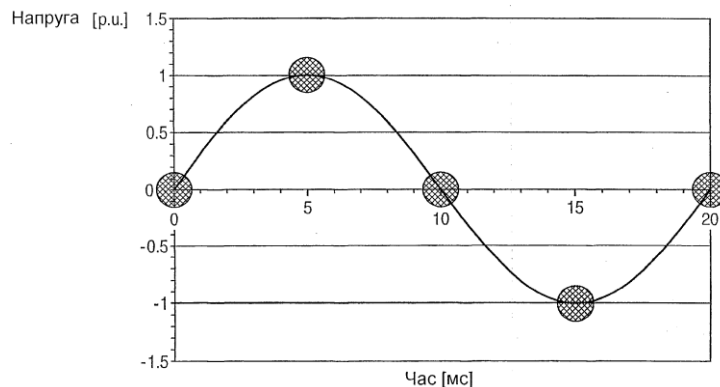
В представленому на Фіг.8 прикладі повинне комутуватися індуктивне навантаження. Характеристика попереднього пробію 11 є настільки крутою, що між характеристикою попереднього пробію і характеристикою напруги неминуче виникає точка перетину. У момент часу 5мс між рухомими контакт-деталлями розмикального проміжку 1 утворюватиметься електрична дуга і виникатиме попередній пробій. У момент часу 7,6мс відбуватиметься торкання рухомих відносно одна до одної контакт-деталей.

При застосуванні способу згідно з винаходом і прийняттям до уваги характеристики пробію застосованого електричного комутаційного апарату таким чином можна ефективно запобігати появі комутаційних перенапружень в процесі комутації.

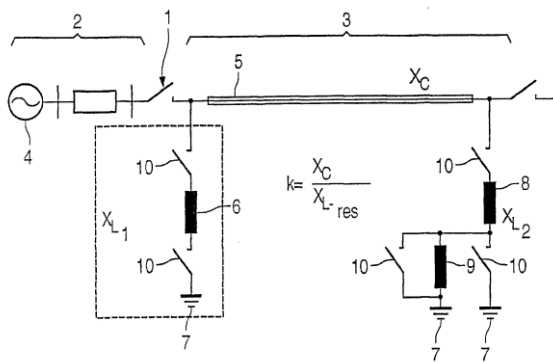
Фіг.9 показує принципову побудову пристрою для здійснення способу.

Пристрій містить блок 12 для порівняння наростань живильної напруги А і коливальної напруги В. При появі встановлених співвідношень наростань відносно один одного видається сигнал 13.

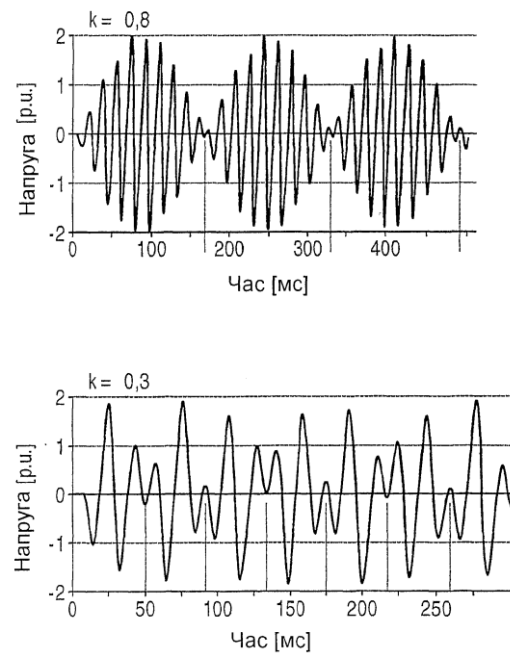
Фіг. 1



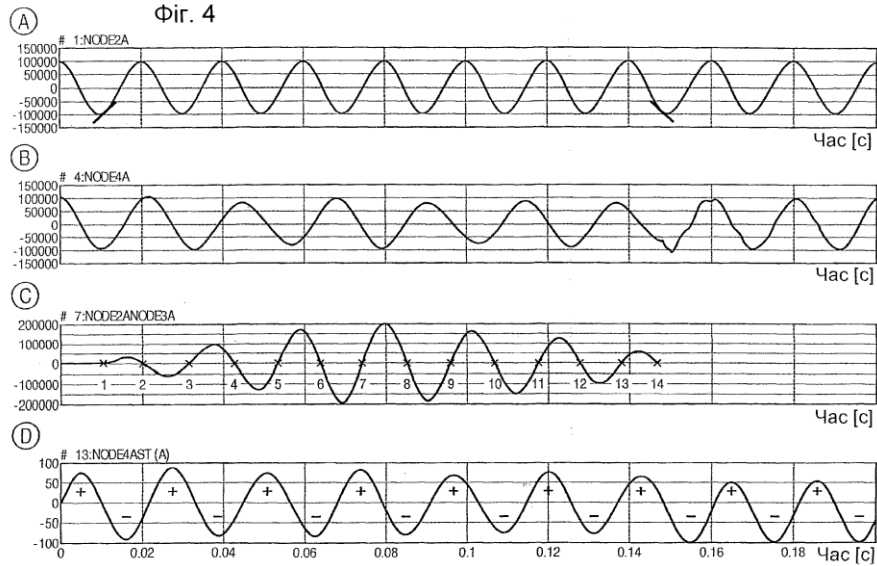
Фиг. 2



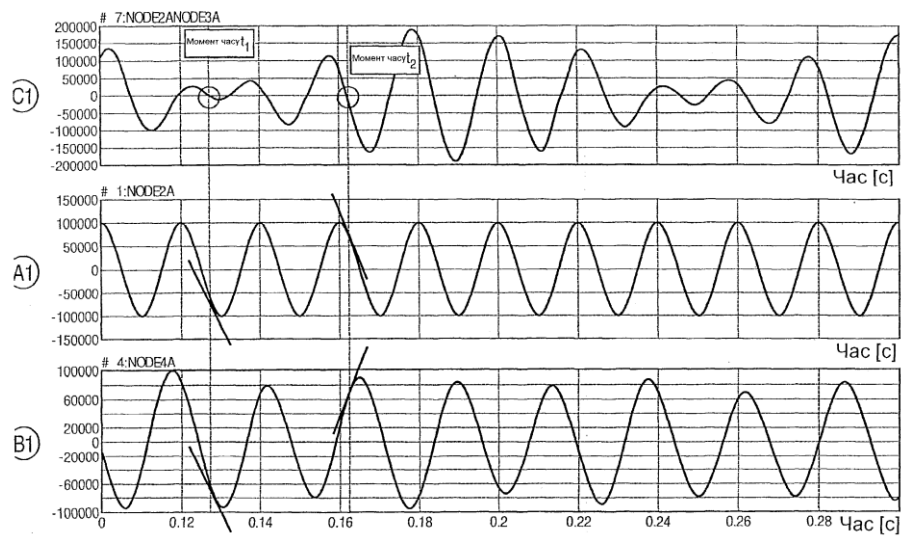
Фиг. 3



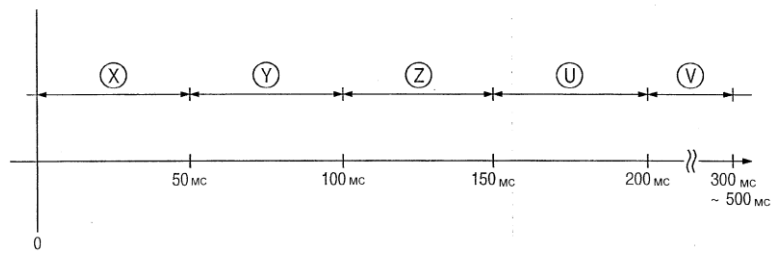
Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7

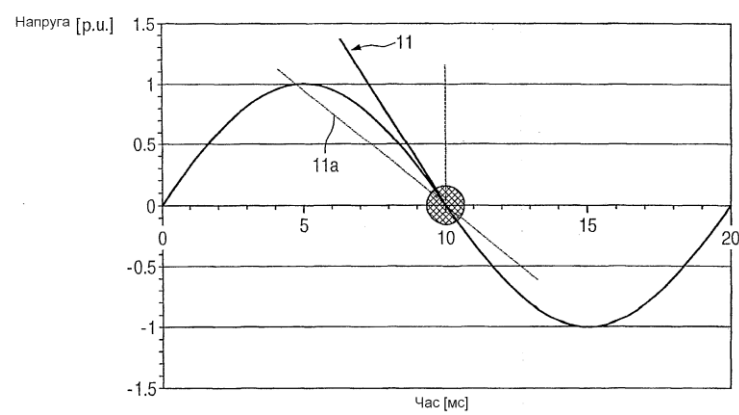


Fig. 8

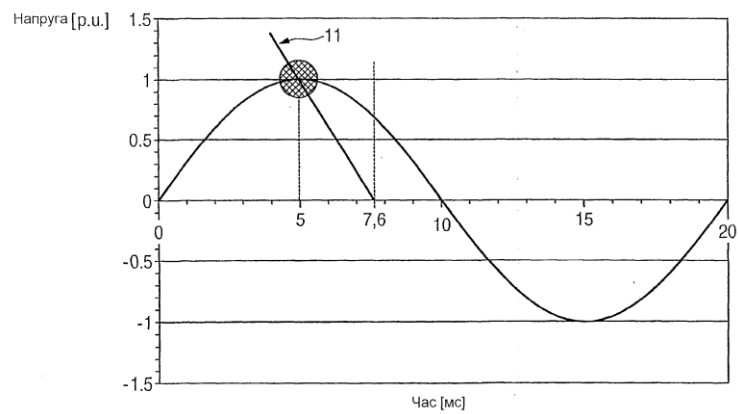


Fig. 9

