

Б. Т. Кононов, Ю. Д. Мусаїрова, А. А. Матвієнко

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

ВИКОРИСТАННЯ ЧАСОВИХ БУЛЕВИХ ФУНКЦІЙ ДЛЯ ПОБУДОВИ УДОСКОНАЛЕНИХ ПРИСТРОЇВ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ, АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ І ДІАГНОСТИКИ ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Пропонується при створенні нових та модернізації існуючих систем електропостачання комплексів озброєння і військової техніки розробляти пристрої релейного захисту, автоматики та технічної діагностики основного обладнання цих систем використовувати безконтактні електричні апарати, проектування та розробка яких здійснюється з використанням математичного апарата алгебри логіки, в якому пропонується брати за основу часові булеві функції. Дається визначення часових булевих функцій та часових операторів. Наводяться основні часові булеві функції і приклади реалізації часових булевих функцій і операторів затримки. Розглядається приклад розробки логічної частини релейного захисту системи гарантованого живлення, в якій накопичувачем енергії є інерційний маховик, а перетворювачем енергії є синхронна електрична машина, яка в залежності від стану зовнішнього вводу працює в режимі синхронного електричного двигуна, або в режимі синхронного генератора. Наводиться схема логічної частини пристрою релейного захисту цієї системи.

Ключові слова: часові булеві функції, часові оператори затримки, пристрої релейного захисту, автоматики та технічної діагностики.

Вступ

Постановка проблеми. Існуючі в Збройних Силах України системи електропостачання комплексів озброєння і військової техніки, як правило, розроблялись в 50-60 роках минулого століття, відпрацювали в основному свій ресурс й вимагають суттєвого удосконалення. Подальший розвиток військової енергетики обумовлює необхідність підвищення технічного рівня основного обладнання систем електропостачання військових об'єктів, підвищення надійності пристроїв релейного захисту, автоматики та технічної діагностики, рішення проблеми комплексної автоматизації управління власне військовою системою електропостачання в нормальних, аварійних та післяаварійних режимах.

Удосконалення основного обладнання систем електропостачання військових об'єктів, використання в цих системах новітніх джерел та перетворювачів енергії й електричних апаратів, створених з врахуванням сучасних досягнень науки та техніки, вимагає змінювати існуючу практику розробки пристроїв релейного захисту, автоматики та технічної діагностики шляхом переходу від інтуїтивних методів їх аналізу та синтезу до наукових, що використовують сучасний математичний апарат і дозволяють здійснювати формалізацію етапів проектування та розробки.

Багато операцій, що виконуються пристроями релейного захисту, автоматики та технічної діагностики здійснюються з витримкою у часі, для отримання якої використовуються електромеханічні реле часу, які разом зі звичайними електромеханічними реле суттєво знижують надійність. Підвищення надійності пристроїв релейного захисту, автоматики та технічної діагностики можливо очікувати якщо використовувати при їх створенні безконтактні електричні апарати, робота яких заснована на теорії релейних пристроїв [1-4]. **Аналіз останніх досліджень та публікацій.** В відомій літературі [1-4]

наводилися шляхи удосконалення та забезпечення надійності технічних систем, використовуючи для цього теоретичні методи аналізу та синтезу систем як об'єктів контролю, обґрунтовуючи при цьому оптимальні способи перевірки працездатності та пошуку несправностей в них. Основна увага в [1-4] приділялась удосконаленню "розума" логічної частини пристроїв релейного захисту, автоматики та технічної діагностики, які, отримуючи інформацію від вимірювальних органів, переробляють її по заданому алгоритму, впливаючи головним чином на надійність функціонування схеми в цілому. Можливості підвищення чутливості, швидкодії і інших чинників на підставі оптимізації логічної структури використовувались недостатньо. Ще менше уваги приділялось питанням удосконалення автоматики енергосистем, в яких використовувались дискретні пристрої, властивості яких засновані на реалізації часових булевих функцій.

Метою статті є обґрунтування можливостей удосконалення пристроїв релейного захисту, автоматики та технічної діагностики шляхом використання при створенні їх логічної частини часових булевих функцій.

Основна частина

Перш за все, введемо основні визначення. Для отримання опису роботи релейних пристроїв у часі необхідно крім логічних змінних ввести змінну часу t , розбив величину часу на дві дискретні області, позначив їх як 0 та 1. Будемо вважати, що якщо поточне значення часу менше деякої заданої величини T , то будемо вважати, що змінна величина часу дорівнює 0, а якщо це значення часу більше T , то змінна величина дорівнює 1, тобто

$$t = \begin{cases} 0, & \text{при } t < T; \\ 1 & \text{при } t \geq T, \end{cases} \quad (1)$$

де t_t – поточне значення часу.

Введемо в розгляд функцію вигляду

$$y = f(x, t), \tag{2}$$

де x – логічна змінна, що приймає значення 0 або 1, а t – часова логічна змінна, яка у відповідності до (1) також приймає значення 0 або 1. Функцію вигляду (2) прийнято називати часовою бульовою функцією двох змінних, для якої можливі наступні комбінації змінних x та t , а саме: 0,0; 0,1; 1,0; 1,1.

В таблиці 1 наведені 16 можливих часових бульових функцій, які обмежені порогом часу τ та часом існування сигналу на чотири інтервали: перший з комбінацією змінних x та t 1,0; другий з комбінацією 1,1; третій з комбінацією 0,0 та четвертий з комбінацією 0,1.

Таблиця 1 – Часові бульові функції

Комбінації змінних x та t	Змінні та функції	Значення функцій при різних порогах часу		
		0	$T = 0$	$T \rightarrow \infty$
0011	x	0	$T = 0$	$T \rightarrow \infty$
0101	t	0	0	0
0000	F_0	0	0	0
0001	F_1	$x \times t$	x	0
0010	F_2	$x \times \bar{t}$	0	x
0011	F_3	x	x	x
0100	F_4	$\bar{x}t$	\bar{x}	0
0101	F_5	$(x \vee \bar{x})t$	1	0
0110	F_6	$\bar{x}t \vee \bar{x}t$	\bar{x}	x
0111	F_7	$x \vee \bar{x}t$	1	\bar{x}
1000	F_8	$\bar{x}t$	0	\bar{x}
1001	F_9	$\bar{x}t \vee \bar{x}t$	x	\bar{x}
1010	F_{10}	$(x \vee \bar{x})\bar{t}$	0	1
1011	F_{11}	$x \vee \bar{x}t$	x	1
1100	F_{12}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}
1101	F_{13}	$\bar{x} \vee \bar{x}t$	1	\bar{x}
1110	F_{14}	$\bar{x} \vee \bar{x}t$	\bar{x}	1
1111	F_{15}	1	1	1

Реалізацію часових бульових функцій можливо отримати з використанням різних фізичних елементів: наприклад, активних опорів R та індуктивностей L або активних опорів R та ємностей C . На рис. 1 показані приклади реалізації деяких часових бульових функцій на основі RC-кіл.

У випадку, коли $T = 0$ в колі RC є місце розрив кола конденсатора, а в випадку коли $T \rightarrow \infty$ конденсатор C є замкненим. При наявності сигналу (рис. 1, а) вважаємо, що є мінусовий потенціал, а при його відсутності – потенціал плюсовий. Якщо $T = 0$, коло конденсатора розірване і на виході y завжди буде мінусовий потенціал, тобто $y = 1$. Якщо $T \rightarrow \infty$, коло конденсатора C замкнено й на виході буде $y = x$. Якщо $0 < T < \infty$, то схема на рис. 1, а реалізує функцію F_7 , оскільки

$$F_7 = x \vee \bar{x}t = x \vee t. \tag{3}$$

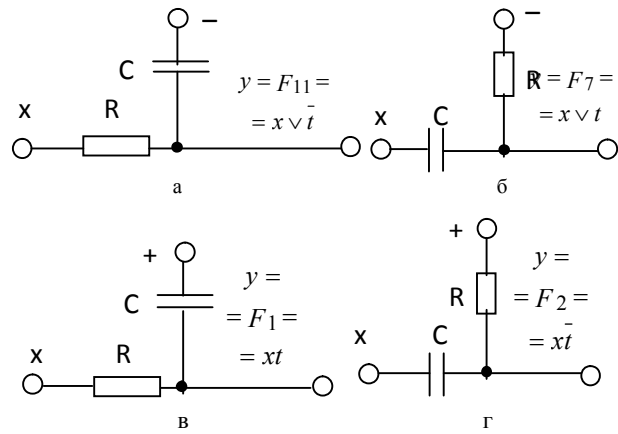


Рис. 1. Приклади реалізації часових бульових функцій

Остаточний результат в виразі (3) отримано з використанням другої формули розкладу бульових функцій [5], відповідно до якої в випадку, коли в схемі є окремо винесений паралельно включений контакт, решта однойменних за дією контактів вилучаються, а різнойменні за дією контакти закорочуються.

Схема, яка наведена на рис. 1, б при $T = 0$ дозволяє отримати $y = x$, при $T \rightarrow \infty$ – $y = 1$, а при $0 < T < \infty$ $y = F_{11}$, оскільки

$$F_{11} = x \vee \bar{x}t = x \vee t. \tag{4}$$

В схемі, яка наведена на рис. 1, в, при $T = 0$ маємо, що $y = 0$, при $T \rightarrow \infty$ маємо, що $y = x$, а при $0 < T < \infty$ $y = F_2 = \bar{x}t$. В схемі, яка наведена на рис.1.г, при $T = 0$ маємо, що $y = x$, при $T \rightarrow \infty$ маємо, що $y = 0$, а при $0 < T < \infty$ $y = F_1 = xt$.

В випадку, коли на входи схем рис.1 подається сигнал \bar{x} , схема, що наведена на рис.1.а реалізує функцію $F_{13} = \bar{x} \vee \bar{x}t = \bar{x} \vee t$, і відповідно отримуємо $F_{14} = \bar{x} \vee \bar{x}t = \bar{x} \vee t$ для схеми, що наведена на рис. 1, б, $F_8 = \bar{x}t$ для схеми, яка наведена на рис.1.в, й $F_4 = \bar{x}t$ для схеми, яка наведена на рис.1.г. З таблиці 1 бачимо, що любую часову бульову функцію можливо представити за допомогою функцій F_1, F_2, F_4 та F_7 , тобто представити її в вигляді RC-кіл. Для спрощення форми запису зв'язків між змінними і функціями доцільно ввести поняття часових операторів. Так, часова бульова функція F_1 описує роботу часового оператора Z_1 затримки появи сигналу, дійсно

$$F_1 = xt = xZ_1. \tag{5}$$

З (5) слідує, що сигнал на виході елемента, який реалізує часову бульову функцію F_1 , з'являється з запізненням на час t і зникає одночасно з зникненням вхідного сигналу x . Часова бульова функція F_2 описує роботу оператора обмеження тривалості існування сигналу Z_2 :

$$F_2 = x\bar{t} = x3_2. \quad (6)$$

Часова бульова функція F_{11} описує роботу оператора затримки часу зникнення сигналу 3_3 :

$$F_{11} = x \vee \bar{x}\bar{t} = x \vee \bar{t} = x3_3, \quad (7)$$

а часова бульова функція F_4 описує роботу оператора затримки на появу і зникнення сигналу 3_4 :

$$F_4 = xt \vee \bar{x}\bar{t} = x3_4. \quad (8)$$

На рис. 2 наведений приклад реалізації елемента затримки 3_2 .

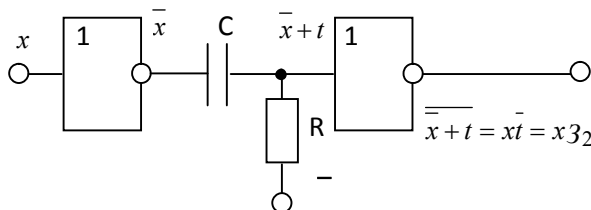


Рис. 2. Реалізація обмеження тривалості існування сигналу

Оскільки пристрої релейного захисту, автоматики і технічної діагностики працюють в умовах використання різноманітних затримок у часі, опис їх роботи та синтез логічної структури цих пристроїв необхідно виконувати з використанням часових булевих функцій та часових операторів. Так, під час опису роботи існуючих пристроїв слід скласти структурну або функціональну схему пристрою, далі отримати алгебраїчну форму запису для кожного елемента пристрою, потім побудувати таблицю або матрицю станів пристрою і, нарешті, визначити за допомогою таблиці або матриці станів умови роботи.

Під час синтезу [5–8] роботи пристрою спочатку необхідно визначити умови його роботи, тобто визначити типи й значення часових затримок, далі треба знайти кількість елементів, необхідних для реалізації часових затримок, потім скласти таблицю станів і при необхідності таблицю переходів або отримати структурні формули, які описують роботу проміжних або вихідних елементів, нарешті необхідно побудувати структурну схему та запропонувати технічну реалізацію логічних і часових операцій з врахуванням можливості використання типових елементів, які випускаються промисловістю.

При створенні пристроїв технічної діагностики необхідно спочатку розробити програму виконання перевірок, передбачив при цьому необхідність автоматизації всіх перевірочних операцій. В програмі перевірки слід визначитися з основними елементами системи, встановити зв'язки між ними, описати можливі стани системи і можливі несправності.

Для ілюстрації можливості реалізації запропонованих рекомендацій розглянемо рішення задачі побудови релейного захисту для системи гарантованого електропостачання, яка містить у своєму складі розподільчий пристрій, який через вимикач мережного вводу приєднаний до державної електричної мережі, яка є основним джерелом живлення в цій

системі електропостачання. До розподільчого пристрою через інший вимикач підключена електрична машина змінного струму, приводом якої є резервний дизельний або бензиновий двигун, або парова чи газова турбіна. На валу резервного джерела живлення у складі електричної машини і привідного двигуна є інерційний маховик та роз'ємна муфта, яка з'єднує електричну машину та інерційний маховик з привідним двигуном. В випадку, коли напруга в державній електричній мережі є, електрична машина працює в режимі двигуна і приводить в рух інерційний маховик. В випадку, коли напруга в державній електричній мережі відсутня, електрична машина переходить в режим генератора, привід якого здійснюється від привідного двигуна, який приводить в рух вал електричної машини і забезпечує обертання маховика. Таким чином, в нормальному режимі роботи системи гарантованого електропостачання джерелом електричної енергії є державна електрична мережа, електрична машина працює в режимі двигуна й обертає інерційний маховик, роз'єднувальна муфта вимкнена, привідний двигун не працює. В разі відсутності напруги від державної електричної енергії джерелом енергії є електрична машина, привід якої здійснюється від привідного двигуна, роз'єднувальна муфта включена.

При зникненні напруги з державної електричної енергії електрична машина переходить з режиму двигуна в режим генератора і її привід здійснюється від інерційного маховика за рахунок зменшення накопиченої в маховику кінетичної енергії. Пристрій релейного захисту повинен забезпечити при цьому вимикання мережного вводу та вмикання роз'єднувальної муфти, що з'єднує вал електричної машини з валом привідного двигуна. Інерційний маховик забезпечує в якості стартера пуск привідного двигуна, який стає джерелом енергії.

Ознакою відсутності напруги в державній мережі є зміна напрямку потоку енергії між розподільчим пристроєм та електричною машиною. При наявності напруги в державній електричній мережі енергія подається від розподільчого пристрою до електричної машини. Але зміна напрямку потоку енергії буде мати місце й при короточасному зменненні частоти або напруги в державній електричній мережі, коли електрична машина працює як компенсатор та згладжує впливи збурень, що мають місце в мережі. Витримка часу при переході на живлення споживачів від мережі до власного джерела живлення необхідна для виключення випадків зайвих пусків привідного двигуна і тим самим від непередбачених витрат його ресурсу. Затягування подачі команди на пуск резервного двигуна приводить до погіршення якості вироблюваної електричної енергії, оскільки кінетична енергія системи зменшується, частота падає і привідний двигун може бути неспроможним прийняти навантаження і вирівняти до необхідного рівня кутову частоту обертання.

Крім того, в разі зникнення напруги в державній електричній мережі в випадку короткого замикання, живлення точки короткого замикання припиняється з боку державної електричної енергії і про-

довжується від розподільчого пристрою, що, в свою чергу, приводить до подальшого зниження частоти. Ознакою несправності в державній електричній мережі є не тільки зміна напрямку потоку енергії й зміна кутової частоти ω , а і зміна прискорення, тобто зміна похідної $\frac{d\omega}{dt}$. Для виключення випадків зайвих непередбачених запусків резервного двигуна необхідно забезпечити певну витримку часу на формування команди.

З врахуванням вищевикладеного, умова роботи пристрою релейного захисту описується наступним логічним рівнянням

$$Q_e = \left[F_1(P_H) \vee F_2\left(\omega \wedge \frac{d\omega}{dt}\right) \right] \times 3_1, \quad (9)$$

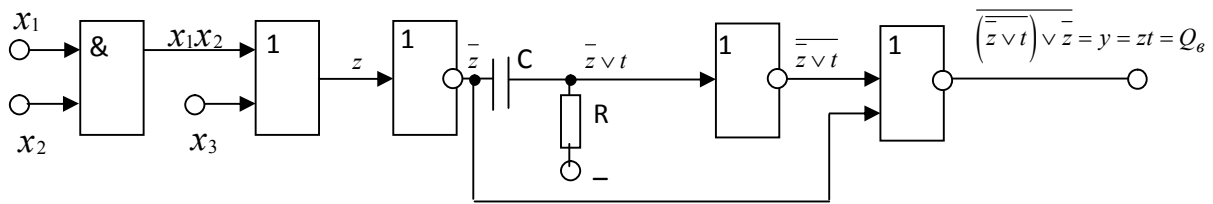


Рис. 3. Схема логічної частини пристрою релейного захисту системи гарантованого електропостачання

На рис. 3 прийняті такі позначення:

$x_1 = 1$ в випадку, коли вимірювач кутової частоти обертання підтверджує, що кутова частота обертання ω в часі зменшується;

$x_2 = 1$ в випадку, коли вимірювач прискорення підтверджує, що прискорення $\xi = \frac{d\omega}{dt}$ в часі зменшується;

$x_3 = 1$ в випадку, коли вимірювач напрямку активної потужності підтверджує, що напрям потоку енергії спрямований від електричної машини до шин розподільчого пристрою;

$$z = x_1 x_2 \vee x_3;$$

$$y = \overline{(\bar{z} \vee t)} \vee \bar{z} = \overline{(z \cdot t)} \vee \bar{z} = (\bar{z} \vee t) \cdot z = zt = Q_e.$$

При отриманні останнього співвідношення використана теорема де Моргана.

В процесі створення пристрою технічної діагностики релейного захисту та автоматики доцільно вважати, що система релейного захисту та автоматики є об'єктом контролю, в якому здійснюється перетворення вхідних впливів (перетворення інформації) і який може приймати кінцеве число внутрішніх станів, тобто вважати, що об'єкт контролю може бути представлений моделлю кінцевого автомата [9, 10].

Таким чином, об'єкт контролю може бути заданий алфавітом вхідних впливів $X(x_1, x_2, \dots, x_i)$,

де Q_e - сигнал на вимикання вводу від державної електричної мережі та на вмикання роз'єднувальної муфти; F_1 - оператор, значення якого дорівнює одиниці, коли напрям потоку енергії змінився і є таким, що енергія поступає від електричної машини до розподільчого пристрою; F_2 - оператор, значення якого дорівнює одиниці, коли одночасно зі зменшенням кутової частоти обертання ω зменшується прискорення $\xi = \frac{d\omega}{dt}$; 3_1 - оператор затримки у часі, який враховує вплив можливих випадкових збурень в державній електричній мережі.

На рис. 3 показана схема логічної частини пристрою релейного захисту розглядаємої системи гарантованого електропостачання.

алфавітом внутрішніх станів $S(s_1, s_2, \dots, s_k)$ та алфавітом вихідних впливів $Y(y_1, y_2, \dots, y_j)$.

Входи, виходи та внутрішні стани можливо використовувати для визначення технічного стану об'єкта контролю. При визначенні умов роботи об'єкта контролю і опису структури дискретного автомата доцільно використовувати ті чи інші прийомні формалізації, які використовуються в математичній логіці [11–15], наприклад мову логічних схем алгоритмів [15].

Для побудови програми перевірки слід визначити всі можливі стани як справного об'єкта, так і об'єкта, працюючого при наявності несправності його елементів.

Висновки

1. Використання часових булевих функцій та часових операторів при побудові пристроїв релейного захисту, автоматики та технічної діагностики дозволяє створити безконтактні пристрої, які дозволяють підвищити надійність роботи основного обладнання систем електропостачання військових об'єктів.

2. Використання при створенні нових та модернізації існуючих систем електропостачання комплексів озброєння і військової техніки наукових методів аналізу й синтезу систем та сучасного математичного апарату алгебри логіки дозволить удосконалити розробляемі зразки техніки, збільшити ресурс їх роботи, спростити структуру і вартість.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гаврилов М.А. Анализ релейно-контактных схем.–М.:Электричество. –1947, № 4, С. 5–13.
2. Гаврилов М.А. Теория релейно-контактных схем.–М.:Изд-во АН СССР,1950. – 331 с.
3. Глушков В.М.Синтез цифровых автоматов. Физматгиз, 1962. – 476с.

4. Гаврилов М.А., Девятков В.В., Пупырев Е.И. Логическое проектирование дискретных автоматов. –М.:Наука, 1977.– 352с.
5. Кононов Б.Т., Самойленко Б.Т., Кононов В.Б.Релейный захист та автоматика в системах електропостачання військових об'єктів. Підручник. МОУ. –Харків:ХУПС.2007. –384 с.
6. Дискретные устройства автоматизированных систем управления./ Под ред. Г. И. Тимолькина, В. С. Харченко. Учебник. – МО СССР.1990. – 445 с.
7. Беркович М.А., Семенов В.А. Основы автоматики энергосистем. – М.: Энергия. 1968. –432 с.
8. Теоретические основы построения логической части релейной защиты и автоматики энергосистем. Под ред. В.Е. Полякова. – М.:Энергия.1979. –240 с.
9. Электрические системы: Автоматизированные системы управления режимами энергосистем. Учебник для вузов/ В.А. Богданов, В.А. Веников, Я.Н. Лугинский, Г.А. Черня; Под ред. В. А. Веникова. -М.: Высш. школа, 1979. – 447 с.
10. Электрические системы. Электрические расчеты, программирование и оптимизация режимов. Под ред. В.А. Веникова. Учебн. пособие для электроэнерг. вузов. М.,”Высш. школа”, 1973. – 320 с., ил.
11. Электрические системы. Кибернетика электрических систем. Под ред. В.А. Веникова. Учебн. пособие для электроэнерг. вузов. М.,”Высш. школа”, 1974. – 328 с., ил.
12. Коваленко А.А. Сучасний стан та тенденції розвитку комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава . ПНТУ, 2018. – Вип. 1(47). – С. 110-113.
13. Kuchuk G., Kovalenko A., Kharchenko V., Shamraev A., "Resource-oriented approaches to implementation of traffic control technologies in safety-critical I&C systems" in book: Green IT Engineering: Components Network and Systems Implementation, Springer International Publishing, vol. 105, pp. 313-338, 2017.
14. Amin Salih Mohammed (2018), "modification of load balancing method in networks with wimax technology", Qalaai Zanist Journal, Vol. 3, No. 2, pp. 791-802.
15. Элементы автоматических устройств: Учебник для вузов/ В.Л. Фабрикант, В.П. Глухов, Л.Б. Паперно, В.Я. Пугиниш. –М.: Высш. школа, 1981. – 400 с.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б. Г. Любарський,
 Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків
 Received (Надійшла) 17.11.2018
 Accepted for publication (Прийнята до друку) 16.01.2019

Использование временных булевых функций для построения усовершенствованных устройств релейной защиты, автоматического управления и диагностики оборудования систем электроснабжения

Б. Т. Кононов, Ю. Д. Мусаирова, А. А. Матвиенко

Предлагается при создании новых и модернизации существующих систем электроснабжения комплексов вооружения и военной техники разрабатывать устройства релейной защиты,автоматики и технической диагностики основного оборудования этих систем использовать бесконтактные электрические аппараты, проектирование и разработка которых осуществляется с использованием математического аппарата алгебры логики,в котором предлагается брать за основу временные булевы функции. Дается определение временных булевых функций и временных операторов. Приводятся основные булевы функции и примеры реализации временных булевых функций и операторов задержки. Рассматривается пример разработки логической части релейной защиты системы гарантированного питания, в которой накопителем энергии является инерционный маховик, а преобразователем энергии является синхронная электрическая машина, которая в зависимости от состояния внешнего ввода работает в режиме синхронного электрического двигателя или в режиме синхронного генератора. Приводится схема логической части устройства релейной защиты этой системы.

Ключевые слова: временные булевы функции, временные операторы задержки, устройства релейной защиты, автоматики и технической диагностики.

Use of temporary boolean functions for creation of advanced devices of relay protection, automatic control and diagnostics of the equipment of power supply systems

B. Kononov, Yu. Musairova, A. Matviienko

Development of military power causes need of increase in technological level of the capital equipment of power supply systems of military facilities, increases in reliability of devices of relay protection, automatic equipment and technical diagnostics, a solution of the problem of complex automation of control of actually military power supply system in normal, emergency and postemergency operation. In article it is offered during creation new and modernizations of the existing power supply systems of complexes of arms and military equipment to develop devices of relay protection, automatic equipment and technical diagnostics of the capital equipment of these systems to use contactless electric devices which design and development is carried out with use of a mathematical apparatus of algebra of logic in which it is offered to take temporary Boolean functions as a basis. Definition of temporary Boolean functions and temporary operators is given. Devices of relay protection, automatic equipment and technical diagnostics work in terms of use of various time lags and therefore the description their robots and synthesis of logical structure of these devices needs to be carried out with use of temporary Boolean functions and temporary operators. Therefore the main Boolean functions and examples of realization of temporary Boolean functions and operators of a delay are given in this article. An example of development of a logical part of relay protection of a system of uninterruptible power supply in which the store of energy is the inertial flywheel is reviewed, and the converter of energy is the synchronous electrical machine which depending on a condition of external input works in the mode of the synchronous electric motor, or in the mode of the synchronous generator. The scheme of a logical part of the device of relay protection of this system is provided.

Keywords: temporary Boolean functions, temporary operators of a delay, device of relay protection, automatic equipment and technical diagnostics.