

но, соответствует техническому оптимуму [4]. С целью получения максимального быстродействия системы измерения без перерегулирования знаменатели передаточных функций следует выбрать равными

$$A(p) = T_0^2 p^2 + 2T_0 p + 1,$$

что соответствует линейному оптимуму системы.

Недостатком данного способа является наличие датчика частоты вращения вала рабочего органа. На рис. 2 представлена структурная схема измерения  $M_z$ , позволяющая избежать указанного недостатка, из которого следует

$$\frac{M_{zi}}{M_z} = \frac{1}{(ap + 1)^2} \quad (7)$$

Предлагаемые системы измерения статического момента на валу рабочего органа просты в реализации, позволяют повысить точность измерения в динамических режимах за счет инвариантности канала измерения к параметрам кинематической цепи и электропривода. Могут быть использованы при построении адаптивных систем управления металлорежущими станками.

#### Л и т е р а т у р а

1. Михайлов О.П., Цейтлин Л.Н. Измерительные устройства в системах адаптивного управления станками. — М., 1977.
2. Адаптивное управление металлорежущими станками/ Под общ.ред. Т.В.Бронштейна. — М., 1973.
3. Измерение момента нагрузки электродвигателей/ П.П.Примшиц, О.П.Ильин, Ю.Н.Петренко, В.П.Беляев. — В сб.: Научные и прикладные проблемы энергетики. Мн., 1979, вып. 4.
4. Фрер Ф., Ортенбургер Ф. Введение в электронную технику регулирования. — М., 1973.

УДК 658.26:621.3

А.Г.Ус, В.Л.Прусс, Л.В.Ничипорович

#### УПРОЩЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ ПРОМПРЕДПРИЯТИЙ

Электрические сети современных крупных промпредприятий отличаются сложной конфигурацией, что обуславливает сложность строгих и точных методов расчета надежности электроснабжения питающихся по ним потребителей [1,2].

Поэтому значительный интерес представляют упрощенные методы расчета надежности, позволяющие получить оценки показателей надежности, достаточные для использования в различных инженерных расчетах проектного

и эксплуатационного характера. Рассмотрим такой метод, основанный на представлении времени "жизни" каждого элемента системы электроснабжения (трансформатора, токопровода, кабельной или воздушной линии, коммутационного аппарата и т.п.), в течение  $T$  ( $T = 8760$  ч) в виде

$$T = T_p + T_o + T_1 + T_2, \quad (1)$$

где  $T_p$ ,  $T_o$ ,  $T_1$ ,  $T_2$  — время нахождения элемента соответственно в состоянии нормального функционирования, в холодном резерве, на планово-профилактическом обслуживании (испытания, ремонт) и в аварийном ремонте.

Кроме рассмотренных в (1) величин, исходными данными для расчета являются также параметры потоков отказов элементов. Определенный по статистическим данным параметр потока отказов каждого элемента ( $\omega$ ) должен быть скорректирован с учетом времени нахождения элемента в работе ( $T_p$ )

$$\omega_{\text{пр}} = \frac{T_p}{T} \omega, \quad (2)$$

где  $\omega_{\text{пр}}$  — приведенный параметр потока отказов на единицу оборудования данного вида в год.

Для кабельных, воздушных линий и токопроводов за единицу принимается 1 км, поэтому

$$\omega' = \omega_{\text{пр}} \cdot l, \quad (3)$$

где  $\omega'$  — приведенный параметр потока отказов;  $l$  — длина линии, км.

Для трансформаторов, выключателей и т.п.

$$\omega' = \omega_{\text{пр}}. \quad (4)$$

Обозначим через  $\tau$  среднегодовую длительность перерыва питания электроприемника, обусловленную неготовностью к нормальной работе данного элемента, входящего в состав системы электроснабжения этого приемника. Тогда, если этот элемент не резервирован, то

$$\tau = T_1 + T_2. \quad (5)$$

При наличии резерва возможны следующие режимы.

1. Резерв готов принять нагрузку нормально работающего элемента в момент выхода его из строя (параллельная работа основного и резервного элемента) или после соответствующих коммутационных операций, выполняемых вручную или автоматикой.

В этом случае время восстановления электроснабжения ( $t_1$ ) равно нулю – при параллельной работе, несколькими секундами при АВР и от нескольких минут до десятков минут при ручных переключениях.

2. Резервный элемент находится в планово-предупредительном ремонте (ППР). При отказе основного элемента ППР резервного прерывается либо завершается и этот элемент вводится в работу. В этом случае время восстановления электроснабжения ( $t_2$ ) обычно колеблется от десятков минут до нескольких часов.

3. В момент выхода основного элемента из строя резервный находится в аварийном ремонте. При этом длительный перерыв электроснабжения неизбежен. Время восстановления питания  $t_3$  может быть от нескольких часов до нескольких суток.

4. Резервный элемент отключен (холодный резерв). В этом случае время восстановления электроснабжения ( $t_4$ ) чаще всего близко по величине к времени  $t_1$ .

Среднегодовая длительность перерыва электроснабжения, вызываемая отказом, имеющего резерв, для режимов 1...4 определится по формуле

$$\tau_1 = \omega' \frac{T - T'_1 - T'_2 - T'_0}{T} t_1 \quad \text{. (режим 1),} \quad (6)$$

где  $T'_1, T'_2, T'_0$  – те же времена, что и  $T_1, T_2, T_0$ , но относящиеся к резервному элементу;

$$\tau_2 = \omega' \frac{T'_1}{T} t_2 \quad \text{(режим 2);} \quad (7)$$

$$\tau_3 = \omega' \frac{T'_2}{T} t_3 \quad \text{(режим 3);} \quad (8)$$

$$\tau_4 = \omega' \frac{T'_0}{T} t_4 \quad \text{(режим 4).} \quad (9)$$

Суммарная длительность перерыва электроснабжения с учетом всех рассмотренных режимов составляет

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4. \quad (10)$$

Как показывает практика, одновременный отказ основного и резервного элементов – событие крайне редкое. Поэтому можно не учитывать режим 3. Тогда

$$\tau = \omega' \left( \frac{T - T'_1 - T'_0}{T} \right) t_1 + \omega' \frac{T'_1}{T} t_2 + \omega' \frac{T'_0}{T} t_4. \quad (11)$$



Распределение электроэнергии по предприятию осуществляется кабельными линиями, проложенными в траншеях. Время восстановления электропитания с помощью резервного оборудования, когда последнее готово к включению, примем: для распределительного устройства ГПП – 2 с (с учетом АВР); для распределительного пункта – 30 мин; для распределительного устройства 0,4 кВ ТП – 60 мин, когда на резервном оборудовании производится ППР – для напряжения 110 кВ – 180 мин; 10, 0,4 кВ – 60 мин.

Время нахождения в году в холодном резерве каждого из цеховых трансформаторов 2100 ч, силовые же трансформаторы ГПП работают непрерывно в году.

**Т а б л и ц а 1. Повреждаемость оборудования и неготовность его к включению**

Оборудование	Поток, отказов, 1/год	Неготовность оборудования, вызванная ППР ( $T_1$ ), ч/год
Выключатели 110 кВ	0,0248	35
Разъединители 110 кВ	0,0211	—
Отделители 110 кВ	0,0098	—
Силовые трансформаторы 110 кВ	0,0144	40
Воздушные линии электропередач 110 кВ	0,025	8
Комплектные распределительные устройства 110 кВ	0,0075	15
Кабельные линии 10 кВ в траншее	0,0847	3
Цеховой трансформатор 1000 кВА	0,0128	15
Автоматический выключатель 0,4 кВ	0,0470	—
Кабель 0,4 кВ	0,0200	—

**Т а б л и ц а 2. Длительность перерыва электроснабжения для узлов нагрузки**

Наименование узла	ГПП		РП		ТП		Приемник	
	$C_1$	$C_2$	$C_1$	$C_2$	$C_1$	$C_2$	1	2

Длительность перерыва электроснабжения, с/год

7,63 7,63 126,43 727 666,4 1276 1563,43 2167

Неготовность к включению нерезервируемого оборудования на 0,4 кВ, вызванная аварийным ремонтом, составляет 0,25 ч/год.

Необходимые статистические данные приведены в табл. 1.

Используя указанные данные, определим надежность питающих и распределительных сетей каждой секции распределительных устройств и приемников 1 и 2 (рис. 1).

1. С1, С2 ГПП. Определяется согласно (12), (15)

$$\tau_1 = (0,0248 + 2 \cdot 0,0211 + 2 \cdot 0,025 + 0,0098 + 0,0144 + 0,075) \times \\ \times \left( \frac{8760 - 40}{8760} \cdot 2 \right) + \frac{40}{8760} \cdot 180 \cdot 60 = 7,63 \frac{\text{с}}{\text{год}}.$$

2. С1, РП. Определяется на основании (14), (15)

$$\tau_2 = \tau_1 + \tau'_2; \tau'_2 = (2 \cdot 0,0075 + 0,6 \cdot 0,0847) \cdot 30 \cdot 60 = 118 \text{ с/год};$$

$$\tau_2 = 7,63 + 118,8 = 126,43 \text{ с/год}.$$

3. С1, ТП. На основании (2), (3), (4), (14), (15)

$$\tau_3 = \tau_2 + \tau'_3; \tau'_3 = \omega' t_1;$$

$$\omega' = (0,0075 + 0,2 \cdot 0,0847 + 0,0128 + 0,047) \cdot \frac{8760 - 2100}{8760} = 0,15 \frac{1}{\text{год}};$$

$$\tau'_3 = 0,15 \cdot 60 \cdot 60 = 540 \frac{\text{с}}{\text{год}}; \tau_3 = 126,43 + 540 = 666,43 \frac{\text{с}}{\text{год}}.$$

4. Приемник 1 (рис. 1)

$$\tau_4 = \tau_3 + \tau'_4 \text{ — определяется по (5)}$$

$$\tau'_4 = 0,25 = 900 \text{ с}; \tau_4 = 666,43 + 900 = 1563,43 \frac{\text{с}}{\text{год}}$$

Для остальных пунктов схемы расчета аналогичны. Результаты расчетов сведены в табл. 2.

#### Л и т е р а т у р а

1. Ф о к и н Ю.А., Ч а н Д и н ь Л о н г. Структурный анализ и методы оценки надежности сложных схем электроснабжения. — Электричество, 1973, № 5.
2. Ф о к и н Ю.А., Ч а н Д и н ь Л о н г. Оценка надежности электроснабжения узлов нагрузки сложных схем. — Электричество, 1976, № 8.