

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2 724 928** (13) **C1**

(51) МПК

[H02J 9/06 \(2006.01\)](#)[H02J 1/00 \(2006.01\)](#)[H02H 7/10 \(2006.01\)](#)

(52) СПК

[H02J 9/06 \(2020.02\)](#)[H02J 1/084 \(2020.02\)](#)[H02H 7/10 \(2020.02\)](#)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: действует (последнее изменение статуса: 26.06.2020)

(21)(22) Заявка: [2019116108](#), 24.05.2019(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
24.05.2019Дата регистрации:
26.06.2020Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 24.05.2019(45) Опубликовано: [26.06.2020](#) Бюл. № 18(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2324272 C2, 10.05.2008. RU
2317626 C1, 20.02.2008. RU 115980 U1,
10.05.2012. US 2012212065 A1, 23.08.2012. EP
2387123 A2, 16.11.2011.Адрес для переписки:
101000, Москва, ул. Мясницкая, 20, НИУ
ВШЭ, директору по правовым вопросам
А.Р. Ермаковой

(72) Автор(ы):

Жаднов Валерий Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

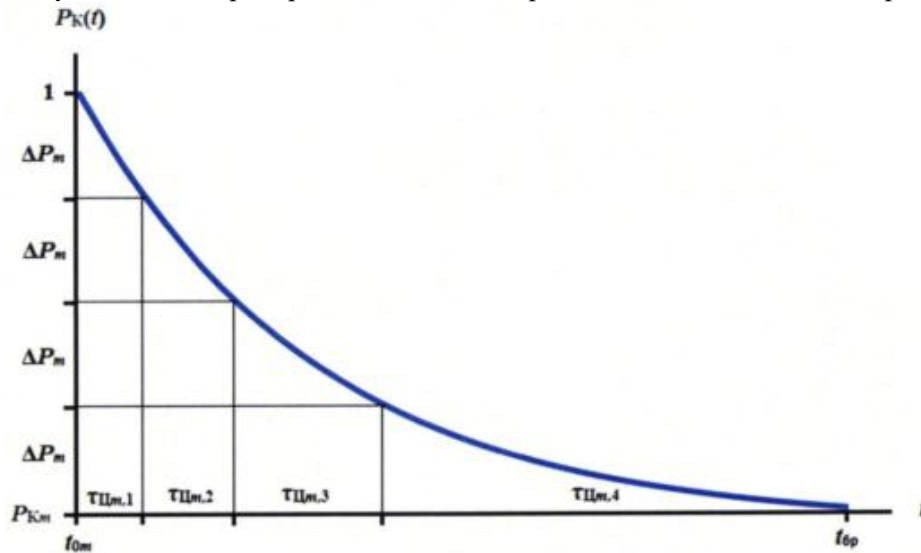
**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Национальный
исследовательский университет "Высшая
школа экономики" (RU)**

(54) Способ управления ротацией силовых каналов в магистрально-модульном преобразователе напряжения со смешанным резервированием

(57) Реферат:

Изобретение относится к области электротехники, в частности к системам вторичного электропитания радиоэлектронной аппаратуры. Технический результат заключается в повышении надежности магистрально-модульного преобразователя напряжения со смешанным резервированием. Результат достигается тем, что управление ротацией силовых каналов заключается в том, что из общего числа силовых каналов включают определенное количество основных каналов и один резервный канал, а остальное количество резервных каналов оставляют отключенными и за счет обеспечения возможности управления временем ротации силовых каналов предложенным способом повышается надежность магистрально-

модульного преобразователя напряжения. 5 з.п. ф-лы, 2 ил.



фиг. 1

Изобретение относится к электротехнике и может быть использовано в системах вторичного электропитания радиоэлектронной аппаратуры.

Системы вторичного электропитания, к которым относятся магистрально-модульные преобразователи напряжения, должны обладать высокой надежностью, так как их отказ, как правило, приводит к отказу аппаратуры. Даже применение резервирования (нагруженного и ненагруженного) не всегда позволяет обеспечить требуемый уровень надежности из-за ограничений по стоимости, массогабаритным показателям и др.

Известен способ управления группой источников вторичного электропитания (ИВЭ), подключенных параллельно на общую шину нагрузки, заключающийся в периодической ротации основных и резервных ИВЭ, находящихся в режиме работы и режиме ожидания, в магистрально-модульном преобразователе напряжения. (Авторское свидетельство СССР №1804678, МПК H02J 9/06, опубл. 23.03.1993 г.).

Согласно известному способу повышение безотказности преобразователя и выравнивание остаточных ресурсов его силовых каналов достигается за счет ротации каналов, при этом из общего числа N ИВЭ включают K основных ИВЭ, суммарная мощность которых равна мощности нагрузки, и по крайней мере один резервный ИВЭ, остальные L резервных ИВЭ оставляют отключенными, в случае возникновения отказа любого из $K+1$ ИВЭ его отключают и включают один из L резервных ИВЭ, причем включенный резервный ИВЭ эксплуатируют в режиме нагруженного резерва, блокируют повторное включение отказавшего ИВЭ, при каждом последующем включении $K+1$ ИВЭ исправные работавшие ИВЭ заменяют исправными не работавшими ИВЭ при предыдущем включении $K+1$ ИВЭ из числа $L-1$, где 1 - число отказавших ИВЭ, при $L-1 < K+1$ включают ИВЭ из числа исправных работавших при предыдущем включении $K+1$ ИВЭ, в случае пребывания $K+1$ ИВЭ во включенном состоянии более определенного промежутка времени замену ИВЭ проводят принудительно.

Очевидно, что максимальный эффект в повышении надежности преобразователя от ротации каналов (ИВЭ) может быть достигнут при условии, что за время до первого отказа канала в преобразователе, за время от первого до второго отказа и т.д. будет выполнен один цикл полной ротации его каналов (т.е. на этих временных интервалах суммарные времена работы и ожидания у всех каналов будут одинаковыми). Однако, поскольку времена до отказа каналов заранее не известны, то определить длительность циклов полной ротации каналов невозможно. Поэтому для получения эффекта от ротации необходимо снижать длительность интервалов времени работы каналов, а следовательно, и длительность промежутков времени их переключений, тем самым управлять временем ротации каналов.

В известном способе повышения надежности преобразователя для управления временем ротации каналов в течении всего срока службы преобразователя предлагается проводить их переключение через «определенный промежуток времени» (постоянный период ротации), равный 24 ч.

Поскольку в момент переключения канала он может отказать, а известный способ управления ротацией каналов при постоянном периоде ротации требует большого

числа переключений, то при таком способе управления ротация может и не дать ожидаемого эффекта или даже привести к снижению надежности преобразователя. Поэтому для обеспечения получения эффекта от ротации необходим такой способ управления ротацией, при котором длительности периодов полной ротации (и периоды ротаций) давали максимальный прирост надежности преобразователя, с учетом соответствующего этим значениям числа переключений каналов и вероятности отказов при таком количестве переключений.

Таким образом, недостатком приведенного выше способа управления ротацией силовых каналов в магистрально-модульных преобразователях напряжения со смешанным резервированием является то, что все «управление» сводится к переключению каналов через заранее назначенный период времени, постоянный в течении всего срока службы преобразователя.

Технической задачей, на решение которой направлено заявляемое изобретение, является повышение надежности магистрально-модульного преобразователя напряжения с ротацией силовых каналов.

Поставленная техническая задача решается тем, что в способе управления ротацией силовых каналов в магистрально-модульном преобразователе напряжения со смешанным резервированием, заключающемся в том, что из общего числа $(N+1+K)$ силовых каналов включают N основных силовых каналов, суммарная мощность которых равна мощности нагрузки, и один резервный канал, а остальные K резервных каналов оставляют отключенными, в случае возникновения отказа любого из включенных силовых каналов его отключают и включают один из K резервных силовых каналов, согласно заявляемому изобретению, предварительно определяют количество циклов полной ротации каналов $(L_{MAX,0})$, длительности циклов полной ротации каналов $(\tau_{Ц0,i})$ и периодов ротации $(\tau_{P0,i})$ на основе расчетов верхней границы вероятности безотказной работы $(P_B(t_{бр}))$ преобразователя, максимально-возможного числа переключений (S_{MAX}) , на время первого цикла полной ротации $(\tau_{Ц0,1})$ включают $N+1$ канал, остальные K каналов оставляют в резерве отключенными, если работающие каналы не отказывают, то в момент времени $t_1 = \tau_{P0,1}$ проводят ротацию каналов в следующем порядке: включают первый резервный канал, который становится $(N+1)$ -м рабочим, и отключают первый работающий канал, который становится K -м резервным, далее последовательно через интервалы времени, равные периоду ротации $\tau_{P0,1}$, проводят ротацию каналов, пока преобразователь не проработает в течение времени $\tau_{Ц0,1}$ или не откажет работающий канал, если за время $\tau_{Ц0,1}$ ни один работающий канал не отказал, повторяют процесс ротации каналов в течение времени $\tau_{Ц0,2}$ с периодом $\tau_{P0,2}$, затем, в течение времени $\tau_{Ц0,2}$ с периодом $\tau_{P0,2}$, и т.д. до тех пор, пока преобразователь не проработает время $t_{бр}$ или не откажет работающий канал, если на интервале времени $\tau_{Ц0,i}$ работающий канал отказал, его отключают, подключают резервный и повторно определяют новые значения количества циклов полной ротации каналов $(L_{MAX,1})$, их длительности $(\tau_{Ц1,i})$ и периодов ротации $(\tau_{P1,i})$, с учетом времени, который преобразователь проработал до отказа канала $(t_{0,1m})$, процедуру определения новых значений количества циклов полной ротации каналов $(L_{MAX,m})$, их длительности $(\tau_{Цm,i})$ и периодов ротации $(\tau_{Pm,i})$ при отказах каналов повторяют до тех пор, пока не откажет K каналов.

Технический результат, достижение которого обеспечивается реализацией всей заявляемой совокупностью существенных признаков, заключается в повышении надежности магистрально-модульного преобразователя напряжения со смешанным резервированием за счет обеспечения возможности управления временем ротации силовых каналов предложенным способом.

Сущность заявляемого изобретения поясняется рисунком, где на фиг. 1 представлен график определения длительности циклов полной ротации каналов;

на фиг. 2 представлена блок-схема алгоритма модуля расчета периода ротации.

В описании используются следующие обозначения: N - количество основных каналов;

K - количество резервных каналов в ненагруженном режиме;

$M=(K+1)$ - количество резервных каналов;

λ - интенсивность отказов канала в режиме работы;

$\lambda_{ож}$ - интенсивность отказов канала в режиме ожидания;

$t_{бр}$ - заданная наработка преобразователя;
 $P_{ТЗ}$ - заданная вероятность безотказной работы преобразователя за время $t_{бр}$;
 $P_{0вклТЗ}$ - заданная вероятность одного безотказного переключения канала;
 m - число отказавших каналов преобразователя за время t_{0m} ;
 t_{0m} - время отказа m -го канала преобразователя;
 M_m - количество оставшихся работоспособных резервных каналов;
 Λ_m - интенсивность отказов канала;
 $\lambda_{рm}$ - интенсивность отказов канала в режиме ротации;
 $K_{и.э.рm}$ - коэффициент интенсивности работы канала;
 S_{MAXm} - максимальное число переключений каналов;
 $P_{0вкл.m}$ - допустимая вероятность безотказного переключения;
 $P_{Вm}$ - верхняя граница вероятности безотказной работы преобразователя за время $(t_{бр}-t_{0m})$;
 $P_{Кm}$ - вероятность безотказной работы канала за время $(t_{бр}-t_{0m})$;
 ΔP_m - вспомогательная переменная;
 $L_{MAX,m}$ - максимальное число циклов полной ротации каналов преобразователя;
 S_{1m} - число переключений каналов при их «последовательном» переключении за один цикл полной ротации;
 $\tau_{Цm,l}$ - длительность l -го цикла полной ротации каналов;
 $\tau_{рm,l}$ - длительность периода ротации каналов в l -ом цикле полной ротации(

Способ управления ротацией силовых каналов в магистрально-модульном преобразователе напряжения осуществляют следующим образом.

Для управления ротацией силовых каналов в магистрально-модульном преобразователе напряжения со смешанным резервированием предварительно при отсутствии отказавших каналов преобразователя (для $m=0$) определяют верхнюю границу вероятности безотказной работы преобразователя, на основе которой рассчитывают максимальное число переключений, количества циклов полной ротации каналов и их длительности, и в итоге, длительности периодов ротации.

Далее, на время первого цикла полной ротации ($\tau_{Ц0,1}$) включают $N+1$ канал, остальные K каналов оставляют в резерве отключенными. Если работающие каналы не отказывают, то в момент времени $t_1=\tau_{р0,1}$ проводят ротацию каналов в следующем порядке: включают первый резервный канал, который становится $(N+1)$ -м рабочим и отключают первый работающий канал, который становится K -м резервным, и далее последовательно с периодом $\tau_{р0,1}$ проводят ротацию каналов, пока преобразователь не отработает время $\tau_{Ц0,1}$ или не откажет работающий канал.

Если за время $\tau_{Ц0,1}$ ни один из работающих каналов не отказал, то начиная с момента времени $t_2=\tau_{Ц0,1}$ повторяют ротацию каналов, но уже в течение времени $\tau_{Ц0,2}$ с периодом $\tau_{р0,2}$, затем, в течении времени $\tau_{Ц0,3}$ - с периодом $\tau_{р0,3}$, и т.д. Эта процедура повторяется до тех пор, пока преобразователь не отработает время $t_{бр}$ или не откажет работающий канал.

Если на интервале времени $[\tau_{рm,l}, \tau_{р(m,l-1)})$ работающий канал отказал, его отключают, подключают резервный и определяют новые значения количества циклов полной ротации каналов, их длительности и периодов ротации, но уже с учетом времени, который преобразователь проработал до отказа очередного канала и для этих значений проводят ротацию каналов. Эта процедура при отказах каналов (определение новых значений количества циклов полной ротации каналов, их длительности и периодов ротации при отказах) повторяется до тех пор, пока не останется $N+1$ работоспособный канал.

Первым преимуществом предлагаемого способа является то, что период полной ротации каналов не назначается, а определяется при каждом изменении числа работоспособных каналов.

Вторым преимуществом предлагаемого способа является то, что максимальное число переключений каналов определяется с учетом заданной вероятности безотказного переключения каналов и изменения «запаса» надежности преобразователя при отказе каналов относительно требуемой надежности.

При осуществлении способа расчет осуществляют следующим образом.

Предварительно определяют значения характеристик магистрально-модульного преобразователя напряжения со смешанным резервированием, а именно: количество основных каналов (N) и количество резервных каналов в ненагруженном режиме (K), числа резервных каналов $M=(K+1)$, интенсивности отказов каналов (λ и $\lambda_{ОЖ}$), а также значений наработки ($t_{бр}$) преобразователя, вероятности безотказной работы преобразователя ($P_{ТЗ}$) за время $t_{бр}$ и вероятности одного безотказного переключения канала $P_{ОвклТЗ}$.

Математический аппарат, использованный для реализации расчета в заявляемом способе, основан на принятых в настоящее время моделях и методах расчета надежности, приведенных в стандартах [1-4].

Для общего случая, когда в момент времени $t=t_{0m}$ отказало t каналов, при условии, что у преобразователя осталось $M_m=(M-m) \geq 2$ работоспособных резервных каналов, порядок расчета периода ротации силовых каналов при их «последовательном» переключении приведен ниже.

Рассчитывается интенсивность отказов канала (Λ_m):

$$\Lambda_m = \begin{cases} \lambda_{P_m} & \text{при } m = 0; \\ \sum_{i=1}^m \left(\frac{t_{0i} - t_{0(i-1)}}{t_{бр}} \cdot \lambda_{P(i-1)} \right) + \frac{t_{бр} - t_{0m}}{t_{бр}} \cdot \lambda_{P_m} & \text{при } m > 0 \text{ и } t_{0_0} = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где λ_{P_m} - интенсивность отказов канала в режиме ротации:

$$\lambda_{P_m} = K_{И.Э.Р_m} \cdot \lambda + (1 - K_{И.Э.Р_m}) \cdot \lambda_{ОЖ}, \quad (2)$$

где $K_{И.Э.Р_m}$ - коэффициент интенсивности работы канала при ротации:

$$K_{И.Э.Р_m} = \frac{N+1}{N+M_m}. \quad (3)$$

Рассчитывается максимальное число переключений каналов (S_{MAX_m}):

$$S_{MAX_m} = \log_{P_{ОвклТЗ}} (P_{Овкл_m}), \quad (4)$$

где $P_{Овкл_m}$ - допустимая вероятность безотказного переключения:

$$P_{Овкл_m} = \frac{P_{ТЗ}}{P_{В_m}}, \quad (5)$$

где $P_{В_m}$ - верхняя граница вероятности безотказной работы преобразователя за время $(t_{бр}-t_{0m})$:

$$P_{В_m} = \sum_{j=0}^{M_m} \left[C_{(N+M_m)}^j \cdot P_{K_m}^{(N+M_m)-j} \cdot (1 - P_{K_m})^j \right], \quad (6)$$

где P_{K_m} - вероятность безотказной работы канала за время $(t_{бр}-t_{0m})$:

$$P_{K_m} = e^{-\Lambda_m(t_{бр}-t_{0m})}. \quad (7)$$

Рассчитывается значение ΔP_m :

$$\Delta P_m = \begin{cases} \frac{1 - P_{K_m}}{L_{MAX_m}} & \text{при } L_{MAX_m} > 0 \\ 0 & \text{при } L_{MAX_m} = 0 \end{cases}. \quad (8)$$

где L_{MAX_m} - максимальное число циклов полной ротации каналов преобразователя:

$$L_{MAX_m} = \begin{cases} \text{int} \left(\frac{S_{MAX_m}}{S_{1_m}} \right) + 1 & \text{при } S_{MAX_m} > 0; \\ 0 & \text{при } S_{MAX_m} \leq 0 \end{cases}, \quad (9)$$

где S_{1_m} - число переключений каналов при их «последовательном» переключении за один цикл полной ротации:

$$S_{l_m} = 2 \cdot (N + M_m). \quad (10)$$

Рассчитывается длительность l -ГО цикла полной ротации каналов ($\tau_{ll_m,l}$):

$$\tau_{ll_m,l} = -\frac{\ln \left[\frac{1-l \cdot \Delta P_m}{1-(l-1) \cdot \Delta P_m} \right]}{\Lambda_m} \text{ для } l = \overline{1, L_{\text{MAX}_m}}. \quad (11)$$

Рассчитывается длительность периода ротации каналов ($\tau_{Pm,l}$) в l -ОМ цикле полной ротации:

$$\tau_{Pm,l} = \frac{\tau_{ll_m,l}}{N + M_m} \text{ для } l = \overline{1, L_{\text{MAX}_m}}. \quad (12)$$

В результате расчета формируется вектор $\mathbf{T}_m = \{\tau_{Pm,1}, \tau_{Pm,2}, \dots, \tau_{Pm,L_{\text{MAX}_m}}\}$, содержащий значения периода ротации каналов для каждого из $l = \overline{1, 2, \dots, L_{\text{MAX}_m}}$ циклов полной ротации, которые можно выполнить при отказе t каналов преобразователя.

Расчетная часть в способе может быть реализована с помощью программного модуля ЭВМ, блок-схема алгоритма которого приведен на фиг. 2. Программная реализация алгоритма осуществлена автором в виде оригинальной программы для ЭВМ «Расчет периода ротации силовых каналов в магистрально-модульных преобразователях напряжения», программа регистрируется в Роспатенте. Программа сконфигурирована с возможностью реализации следующих функции: ввода данных о характеристиках надежности каналов преобразователя, требований по надежности к преобразователю и времен отказов его каналов, расчета числа циклов полной ротации основных и резервных каналов преобразователя и периода ротации для каждого цикла при изменении числа работоспособных каналов в результате их отказов и вывода значений числа циклов полной ротации каналов преобразователя и периода ротации для каждого цикла. Программная реализация алгоритма может быть выполнена и с использованием общедоступных CASE-систем, например и той, которую предполагалось использовать в известном способе повышение безотказности преобразователя для программной реализации алгоритма управления ротацией каналов на микроЭВМ (контроллере) по АС. №1804678. В любом случае интеграция программного модуля в управляющую программу контроллера не вызовет особых затруднений.

Таким образом, предлагаемое изобретение решает задачу повышения надежности магистрально-модульных преобразователей напряжения за счет оптимизации управления временем ротации силовых каналов.

Источники информации:

1. ГОСТ Р 51901.14-2007 (МЭК 61078:2006). Менеджмент риска. Структурная схема надежности и булевы методы. - М.: Стандартинформ, 2008. - 28 с.
2. ОСТ 4Г 0.012.242-84. Отраслевой стандарт. Аппаратура радиоэлектронная. Методика расчета показателей надежности - М.: ВНИИ, 1985. - 49 с.
3. РД В 319.01.19-98. Комплексная система контроля качества. Радиоэлектронные системы военного назначения. Методики оценки и расчета запасов в комплектах ЗИП. - М.: МО РФ, 2000. - 59 с.
4. ОСТ В 4Г 0.012.241-84. Отраслевой стандарт. Аппаратура радиоэлектронная. Методы расчета показателей надежности в режимах хранения и ожидания и определения продолжительности испытаний, имитирующих длительное хранение. - М.: ВНИИ, 1985. - 45 с.

Формула изобретения

1. Способ управления ротацией силовых каналов в магистрально-модульном преобразователе напряжения со смешанным резервированием, заключающийся в том, что из общего числа $(N+1+K)$ силовых каналов включают N основных силовых каналов, суммарная мощность которых равна мощности нагрузки, и один резервный канал, а остальные K резервных каналов оставляют отключенными, в случае возникновения отказа любого из включенных силовых каналов его отключают и включают один из K резервных силовых каналов, отличающийся тем, что предварительно определяют количество циклов полной ротации каналов ($L_{\text{MAX},0}$), длительности циклов полной ротации каналов ($\tau_{ll_0,l}$) и периодов ротации ($\tau_{P0,l}$) на основе расчетов верхней границы вероятности безотказной работы ($P_B(t_{\text{ср}})$)

преобразователя, максимально-возможного числа переключений (S_{MAX}), на время первого цикла полной ротации ($\tau_{Ц0,1}$) включают $N+1$ канал, остальные K каналов оставляют в резерве отключенными, если работающие каналы не отказывают, то в момент времени $t_1 = \tau_{р0,1}$ проводят ротацию каналов в следующем порядке: включают первый резервный канал, который становится $(N+1)$ -м рабочим и отключают первый работающий канал, который становится K -м резервным, далее последовательно через интервалы времени, равные периоду ротации $\tau_{р0,1}$, проводят ротацию каналов, пока преобразователь не проработает в течение времени $\tau_{Ц0,1}$ или не откажет работающий канал, если за время $\tau_{Ц0,1}$ ни один работающий канал не отказал, повторяют процесс ротации каналов в течение времени $\tau_{Ц0,2}$ с периодом $\tau_{р0,2}$, затем в течение времени $\tau_{Ц0,3}$ с периодом $\tau_{р0,3}$ и т.д. до тех пор, пока преобразователь не проработает время $t_{бр}$ или не откажет работающий канал, если на интервале времени $\tau_{Ц0,l}$ работающий канал отказал, его отключают, подключают резервный и повторно определяют новые значения количества циклов полной ротации каналов ($L_{MAX,1}$), их длительности ($\tau_{Ц1,l}$) и периодов ротации ($\tau_{р1,l}$), с учетом времени, которое преобразователь проработал до отказа канала ($t_{0,1}$), процедуру определения новых значений количества циклов полной ротации каналов ($L_{MAX,m}$), их длительности ($\tau_{Цm,l}$) и периодов ротации ($\tau_{рm,l}$) при отказах каналов повторяют до тех пор, пока не откажет K каналов.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что верхнюю границу вероятности безотказной работы ($P_{Вм}$) преобразователя определяют из соотношения:

$$P_{Вм} = \sum_{j=0}^{M_m} \left[C_{(N+M_m)}^j \cdot P_{К_m}^{(N+M_m)-j} \cdot (1 - P_{К_m})^j \right]$$

3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что максимально-возможное число переключений (S_{MAXm}) определяют из соотношения:

$$S_{MAX_m} = \log_{P_{0\text{вкл}}^m} (P_{0\text{вкл}_m})$$

4. Способ по п. 1, отличающийся тем, что количество циклов полной ротации каналов ($L_{MAX,m}$) определяют из соотношения:

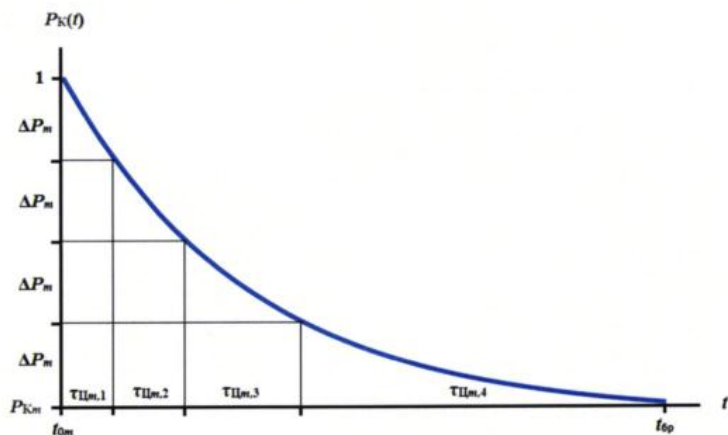
$$L_{MAX_m} = \begin{cases} \text{int} \left(\frac{S_{MAX_m}}{S_{1_m}} \right) + 1 & \text{при } S_{MAX_m} > 0; \\ 0 & \text{при } S_{MAX_m} \leq 0 \end{cases}$$

5. Способ по п. 1, отличающийся тем, что длительности ($\tau_{Цm,l}$) циклов полной ротации каналов определяют из соотношения:

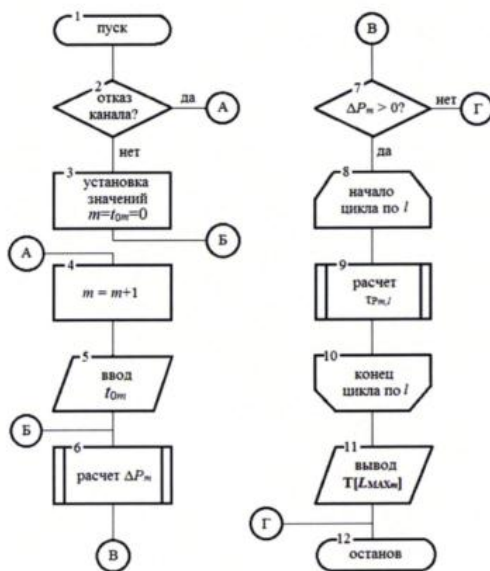
$$\tau_{Цm,l} = - \frac{\ln \left[\frac{1 - l \cdot \Delta P_m}{1 - (l-1) \cdot \Delta P_m} \right]}{\Lambda_m} \quad \text{для } l = \overline{1, L_{MAX_m}}$$

6. Способ по п. 1, отличающийся тем, что длительность периода ротации каналов ($\tau_{рm,l}$) определяют из соотношения:

$$\tau_{рm,l} = \frac{\tau_{Цm,l}}{N + M_m} \quad \text{для } l = \overline{1, L_{MAX_m}}$$



фиг. 1



фиг. 2