

УДК 629.735

МОДЕЛЬ КАНАЛА БОРТОВОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА, РАБОТАЮЩЕГО НА ОБОБЩЕННУЮ НЕСИММЕТРИЧНУЮ ТРЕХФАЗНУЮ НАГРУЗКУ

А.Г. ДЕМЧЕНКО¹

¹*Московский государственный технический университет гражданской авиации,
г. Москва, Россия*

Данная статья посвящена математическому моделированию канала бортовой системы электроснабжения (СЭС) переменного тока при работе на статическую активно-индуктивную нагрузку, соединенную по схемам «звезда с нейтралью» и «треугольник». Рассматриваются математические модели авиационного синхронного генератора, системы распределения электроэнергии, трехфазной статической активно-индуктивной нагрузки. При математическом описании генератора были рассмотрены уравнения для напряжений обмоток и потокоцеплений контуров статора и ротора генератора в неподвижной системе фазных координат «ABC». При рассмотрении математической модели системы распределения электроэнергии использовались уравнения, учитывающие падения напряжений на активном и индуктивном сопротивлениях силовых проводов системы распределения. При рассмотрении математических моделей трехфазных статических нагрузок, соединенных по схемам «звезда с нейтралью» и «треугольник» использовались уравнения, учитывающие падения напряжений на активном и индуктивном сопротивлении нагрузок. Была получена система матричных уравнений канала СЭС переменного тока при работе на обобщенную трехфазную статическую активно-индуктивную нагрузку. С целью упрощения решения системы матричных уравнений канала СЭС переменного тока схема соединения трехфазной статической нагрузки, соединенной по схеме «треугольник» была преобразована в «звезду». Выбор системы фазных координат «ABC» для математического описания генератора, системы распределения и статической нагрузки обусловлен ее преимуществом перед системой координат «dq», поскольку уравнения, записанные в фазных координатах справедливы для симметричных и несимметричных режимов генератора, в то время как уравнения, записанные в системе координат «dq» будут справедливы только для симметричных режимов. В результате совместного решения уравнений генератора, системы распределения, трехфазных статических нагрузок были получены выражения для напряжений фаз обмотки статора генератора, токов фаз генератора, падений напряжений на фазах нагрузок, токов фаз нагрузок, соединенных по схемам «звезда с нейтралью» и «треугольник».

Ключевые слова: математическое моделирование, система электроснабжения, синхронный генератор, трехфазная нагрузка.

ВВЕДЕНИЕ

Ранее в работах [1–5] были получены математические модели агрегатов бортовой СЭС переменного тока: авиационного синхронного генератора, регулятора напряжения, блока защиты и управления каналом генерирования, активного синхронизатора, привода постоянной частоты вращения, трехфазной статической активно-индуктивной нагрузки. В данной работе рассматривается математическая модель канала бортовой системы электроснабжения (СЭС) переменного тока, работающего на обобщенную трехфазную нагрузку.

СТРУКТУРА КАНАЛА БОРТОВОЙ СЭС ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

При моделировании канала бортовой СЭС переменного тока за основу была взята типовая структурная схема канала бортовой СЭС переменного тока среднемагистрального самолета (рис. 1).

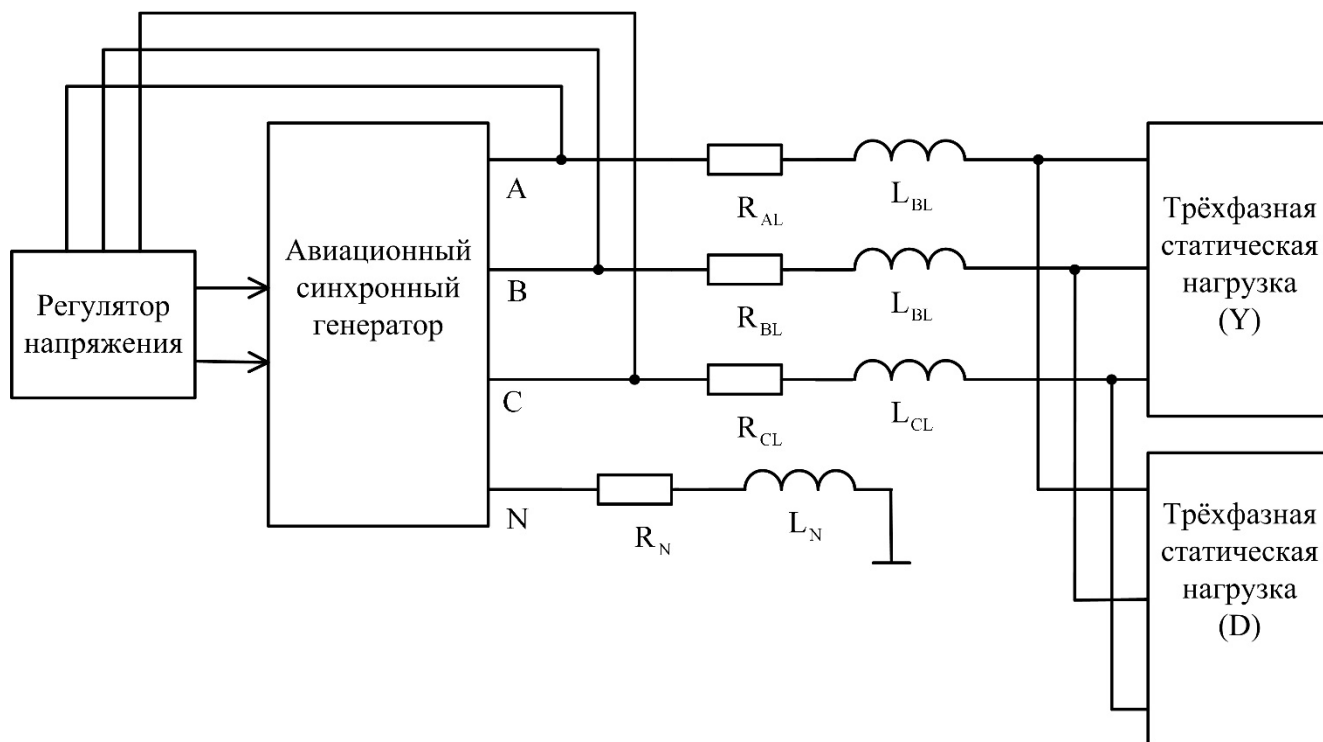


Рис. 1. Структурная схема канала бортовой СЭС переменного тока
Fig. 1. Channel block diagram of the onboard power supply system of AC

На схеме канала бортовой СЭС (рис. 1) обозначены следующие элементы:

R_{AL} , R_{BL} , R_{CL} – активные сопротивления соединительных проводов фаз А, В, С; L_{AL} , L_{BL} , L_{CL} – индуктивности соединительных проводов фаз А, В, С; R_N , L_N – активное сопротивление и индуктивность нейтрального провода генератора.

МОДЕЛЬ АВИАЦИОННОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

При реализации математической модели электрической части генератора использовались результаты, полученные в работе [4].

Математическая модель электрической части генератора описывается системой матричных уравнений

$$\begin{cases} [u_s] = -p[\psi_s] - [r_s] \cdot [i_s]; \\ [u_r] = p[\psi_r] + [r_r] \cdot [i_r]; \\ [\psi_s] = [L_{ss}] \cdot [i_s] + [L_{sr}] \cdot [i_r]; \\ [\psi_r] = [L_{rs}] \cdot [i_s] + [L_{rr}] \cdot [i_r], \end{cases} \quad (1)$$

где $[u_s]$ – вектор-столбец фазных напряжений синхронного генератора, выраженных в преобразовании Лапласа;
 $[u_r]$ – вектор-столбец напряжений цепей ротора синхронного генератора, выраженных в преобразовании Лапласа;
 $[\psi_s]$ – вектор-столбец потокосцеплений фаз обмотки статора синхронного генератора, выраженных в преобразовании Лапласа;

$[\psi_R]$ – вектор-столбец потокосцеплений контуров ротора синхронного генератора, выраженных в преобразовании Лапласа;
 $[i_S]$ – вектор-столбец фазных токов синхронного генератора, выраженных в преобразовании Лапласа;
 $[i_R]$ – вектор-столбец токов роторных цепей синхронного генератора, выраженных в преобразовании Лапласа;
 $[r_S]$ – матрица активных сопротивлений фаз обмотки статора;
 $[r_R]$ – матрица активных сопротивлений цепей ротора;
 $[L_{SS}]$ – матрица индуктивностей и взаимных индуктивностей обмоток статора, являющихся периодическими функциями времени;
 $[L_{SR}]$ – матрица взаимных индуктивностей обмотки статора и цепей ротора, являющихся периодическими функциями времени;
 $[L_{RS}] = [L_{SR}]^T$ – транспонированная матрица $[L_{SR}]$;
 $[L_{RR}]$ – матрица индуктивностей и взаимных индуктивностей цепей ротора, не зависящих от времени.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БОРТОВОЙ СЭС

При моделировании системы распределения бортовой СЭС переменного тока использовалась математическая модель системы распределения, полученная в работе [4]:

$$[u_L] = [z_L] \cdot [i_S], \quad (2)$$

где $[z_L]$ – матрица операторных сопротивлений проводов;
 $[u_L]$ – вектор-столбец падений напряжений на соединительных проводах.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ СТАТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ, СОЕДИНЕННОЙ ПО СХЕМЕ «ЗВЕЗДА С НЕЙТРАЛЬЮ»

При моделировании трехфазной статической нагрузки использовалась математическая модель трехфазной статической активно-индуктивной нагрузки, полученная в работе [4]:

$$[u_Y] = [z_Y] \cdot [i_Y], \quad (3)$$

где $[z_Y]$ – матрица операторных сопротивлений нагрузки;
 $[u_Y]$ – вектор-столбец фазных напряжений на нагрузке;
 $[i_Y]$ – вектор-столбец токов в фазах нагрузки.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ СТАТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ, СОЕДИНЕННОЙ «ТРЕУГОЛЬНИКОМ»

Как показано в [6, 7], система уравнений, описывающая трехфазную статическую активно-индуктивную нагрузку, соединенную по схеме «треугольником», имеет вид

$$\begin{cases} u_{ABH}(t) = R_{ABH} i_{AB}(t) + L_{ABH} \frac{di_{AB}(t)}{dt}; \\ u_{BCH}(t) = R_{BCH} i_{BC}(t) + L_{BCH} \frac{di_{BC}(t)}{dt}; \\ u_{CAH}(t) = R_{CAH} i_{CA}(t) + L_{CAH} \frac{di_{CA}(t)}{dt}, \end{cases} \quad (4)$$

где $u_{ABH}(t)$, $u_{BCH}(t)$, $u_{CAH}(t)$ – мгновенные значения линейных напряжений на нагрузке; $i_{ABH}(t)$, $i_{BCH}(t)$, $i_{CAH}(t)$ – мгновенные значения фазных токов нагрузки; R_{ABH} , R_{BCH} , R_{CAH} – активные сопротивления фаз нагрузки; L_{ABH} , L_{BCH} , L_{CAH} – индуктивности фаз нагрузки.

Применяя к системе уравнений (4) преобразование Лапласа, получаем систему уравнений

$$\begin{cases} U_{ABH}(p) = R_{ABH} I_{ABH}(p) + pL_{ABH} I_{ABH}(p); \\ U_{BCH}(p) = R_{BCH} I_{BCH}(p) + pL_{BCH} I_{BCH}(p); \\ U_{CAH}(p) = R_{CAH} I_{CAH}(p) + pL_{CAH} I_{CAH}(p). \end{cases} \quad (5)$$

Выполняя необходимые преобразования, получаем

$$\begin{cases} U_{ABH}(p) = I_{ABH}(p) \cdot (R_{ABH} + pL_{ABH}); \\ U_{BCH}(p) = I_{BCH}(p) \cdot (R_{BCH} + pL_{BCH}); \\ U_{CAH}(p) = I_{CAH}(p) \cdot (R_{CAH} + pL_{CAH}), \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} U_{ABH}(p) = I_{ABH}(p) \cdot Z_{ABH}(p); \\ U_{BCH}(p) = I_{BCH}(p) \cdot Z_{BCH}(p); \\ U_{CAH}(p) = I_{CAH}(p) \cdot Z_{CAH}(p), \end{cases} \quad (7)$$

где $Z_{ABH}(p) = R_{ABH} + pL_{ABH}$ – операторное сопротивление фазы А нагрузки; $Z_{BCH}(p) = R_{BCH} + pL_{BCH}$ – операторное сопротивление фазы В нагрузки; $Z_{CAH}(p) = R_{CAH} + pL_{CAH}$ – операторное сопротивление фазы С нагрузки.

Для дальнейших исследований, с целью упрощения модели СЭС, преобразуем статическую нагрузку, соединенную «треугольником» в эквивалентную «звезду».

Система уравнений, описывающая преобразованную нагрузку:

$$\begin{cases} U_{AAY}(p) = Z_{AAY} I_{AAY}(p); \\ U_{BAY}(p) = Z_{BAY} I_{BAY}(p); \\ U_{CAY}(p) = Z_{CAY} I_{CAY}(p), \end{cases} \quad (8)$$

где $U_{AAY}(p)$ – операторное напряжение фазы А нагрузки; $U_{BAY}(p)$ – операторное напряжение фазы В нагрузки; $U_{CAY}(p)$ – операторное напряжение фазы С нагрузки; $I_{AAY}(p)$ – операторный

ток фазы А нагрузки; $I_{\text{БAY}}(p)$ – операторный ток фазы В нагрузки; $I_{\text{CAY}}(p)$ – операторный ток фазы С нагрузки;

$Z_{\text{AAY}}(p) = \frac{Z_{\text{ABΔ}}(p)Z_{\text{CAΔ}}(p)}{Z_{\text{ABΔ}}(p) + Z_{\text{BCΔ}}(p) + Z_{\text{CAΔ}}(p)}$ – операторное сопротивление фазы А преобразованной нагрузки;

$Z_{\text{BAY}}(p) = \frac{Z_{\text{ABΔ}}(p)Z_{\text{BCΔ}}(p)}{Z_{\text{ABΔ}}(p) + Z_{\text{BCΔ}}(p) + Z_{\text{CAΔ}}(p)}$ – операторное сопротивление фазы В преобразованной нагрузки;

$Z_{\text{CAY}}(p) = \frac{Z_{\text{BCΔ}}(p)Z_{\text{CAΔ}}(p)}{Z_{\text{ABΔ}}(p) + Z_{\text{BCΔ}}(p) + Z_{\text{CAΔ}}(p)}$ – операторное сопротивление фазы С преобразованной нагрузки.

Матричное уравнение преобразованной нагрузки

$$[U_{\Delta Y}] = [Z_{\Delta Y}] \cdot [I_{\Delta}], \quad (9)$$

где $[U_{\Delta Y}] = \begin{bmatrix} U_{\text{AAY}}(p) \\ U_{\text{BAY}}(p) \\ U_{\text{CAY}}(p) \end{bmatrix}$ – вектор-столбец фазных напряжений на нагрузке «треугольник»;

$[Z_{\Delta Y}] = \begin{bmatrix} Z_{\text{AAY}}(p) & 0 & 0 \\ 0 & Z_{\text{BAY}}(p) & 0 \\ 0 & 0 & Z_{\text{CAY}}(p) \end{bmatrix}$ – матрица операторных сопротивлений нагрузки «треугольник»;

$[I_{\Delta}] = \begin{bmatrix} I_{\text{AAY}}(p) \\ I_{\text{BAY}}(p) \\ I_{\text{CAY}}(p) \end{bmatrix}$ – вектор-столбец фазных токов нагрузки «треугольник».

Далее, для решения задачи построения схемы замещения канала бортовой СЭС переменного тока при работе на обобщенную трехфазную статическую нагрузку проводится сопоставление структурной схемы (рис. 1) с электрической схемой замещения (рис. 2).

ПОЛУЧЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КАНАЛА БОРТОВОЙ СЭС ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПРИ РАБОТЕ НА ОБОБЩЕННУЮ ТРЕХФАЗНУЮ СТАТИЧЕСКУЮ НАГРУЗКУ

Для получения матричного уравнения связи токов генератора и нагрузок, соединенных «звездой с нейтралью» и «треугольником», рассмотрим систему уравнений

$$\begin{cases} I_A(p) - I_{\text{AY}}(p) - I_{\text{AΔ}}(p) = 0; \\ I_B(p) - I_{\text{BY}}(p) - I_{\text{BΔ}}(p) = 0; \\ I_C(p) - I_{\text{CY}}(p) - I_{\text{CΔ}}(p) = 0. \end{cases}$$

В матричной форме система запишется в виде

$$[i_s] - [i_Y] - [i_A] = 0. \quad (10)$$

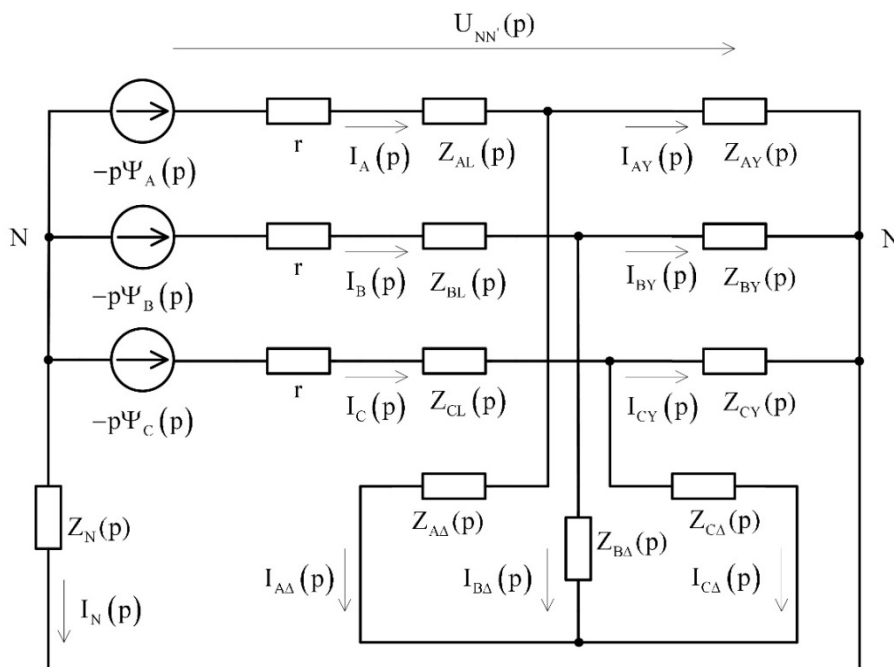


Рис. 2. Схема замещения канала бортовой СЭС переменного тока в операторной форме
Fig. 2. The equivalent circuit of the channel on-Board power supply system of AC in the operator form

Для получения матричного уравнения связи падений напряжений на нагрузках, соединенных по схемам «звезда с нейтралью» и «треугольник», рассмотрим систему уравнений

$$\begin{cases} Z_{AA}(p)I_{AA}(p) - Z_{BA}(p)I_{BA}(p) + Z_{BY}(p)I_{BY}(p) - Z_{AY}(p)I_{AY}(p) = 0; \\ Z_{BA}(p)I_{BA}(p) - Z_{CA}(p)I_{CA}(p) + Z_{CY}(p)I_{CY}(p) - Z_{BY}(p)I_{BY}(p) = 0; \\ I_{AA}(p) + I_{BA}(p) + I_{CA}(p) = 0. \end{cases}$$

Выполняя необходимые преобразования, получаем

$$\begin{cases} I_A(p) + I_B(p) + I_C(p) - I_{AY}(p) - I_{BY}(p) - I_{CY}(p) = 0; \\ Z_{AA}(p)I_A(p) - Z_{BA}(p)I_B(p) - (Z_{AY}(p) + Z_{AA}(p))I_{AY}(p) + (Z_{BY}(p) + Z_{BA}(p))I_{BY}(p) = 0; \\ Z_{BA}(p)I_B(p) - Z_{CA}(p)I_C(p) - (Z_{BY}(p) + Z_{BA}(p))I_{BY}(p) + (Z_{CY}(p) + Z_{CA}(p))I_{CY}(p) = 0. \end{cases}$$

Получаем матричное уравнение

$$[z_A][i_s] - [z_{YA}][i_Y] = 0, \quad (11)$$

$$\text{где } [z_A] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ Z_{AA}(p) & -Z_{BA}(p) & 0 \\ 0 & Z_{BA}(p) & -Z_{CA}(p) \end{bmatrix}; [z_{YA}] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ Z_{AY\Delta}(p) & -Z_{BY\Delta}(p) & 0 \\ 0 & Z_{BY\Delta}(p) & -Z_{CY\Delta}(p) \end{bmatrix}.$$

Как было показано в [4], модель генератора, системы распределения и трехфазной нагрузки, соединенной по схеме «звезда с нейтралью», связаны матричным уравнением

$$[u_s] = [A] \cdot [u_Y] + [u_L], \quad (12)$$

$$\text{где } [A] = \begin{bmatrix} \left(1 + \frac{Z_N(p)}{Z_{AY}(p)}\right) & \frac{Z_N(p)}{Z_{BY}(p)} & \frac{Z_N(p)}{Z_{CY}(p)} \\ \frac{Z_N(p)}{Z_{AY}(p)} & \left(1 + \frac{Z_N(p)}{Z_{BY}(p)}\right) & \frac{Z_N(p)}{Z_{CY}(p)} \\ \frac{Z_N(p)}{Z_{AY}(p)} & \frac{Z_N(p)}{Z_{BY}(p)} & \left(1 + \frac{Z_N(p)}{Z_{CY}(p)}\right) \end{bmatrix}.$$

Для получения математической модели канала СЭС переменного тока при работе на обобщенную нагрузку дополним математическую модель генератора (1) уравнениями математической модели системы распределения (2), уравнениями математической модели трехфазной статической активно-индуктивной нагрузки (3), (9) и уравнениями связи (10), (11), (12):

$$\begin{cases} [u_s] = -p[\psi_s] - [r_s] \cdot [i_s]; \\ [u_r] = p[\psi_r] + [r_r] \cdot [i_r]; \\ [\psi_s] = [L_{ss}] \cdot [i_s] + [L_{sr}] \cdot [i_r]; \\ [\psi_r] = [L_{rs}] \cdot [i_s] + [L_{rr}] \cdot [i_r]; \\ [i_s] = [i_Y] + [i_\Delta]; \\ [z_\Delta][i_s] - [z_{Y\Delta}][i_Y] = 0; \\ [u_L] = [Z_L] \cdot [i_s]; \\ [u_Y] = [Z_Y] \cdot [i_Y]; \\ [u_{\Delta Y}] = [Z_{\Delta Y}] \cdot [i_\Delta]; \\ [u_s] = [A] \cdot [u_Y] + [u_L]. \end{cases} \quad (13)$$

При анализе переходных процессов в канале бортовой СЭС полагаем неизвестными следующие величины: $[u_s]$, $[i_s]$, $[u_Y]$, $[u_{\Delta Y}]$, $[i_Y]$, $[i_\Delta]$.

Решив систему уравнений (13), получим величины $[u_s]$, $[i_s]$, $[u_Y]$, $[u_{\Delta Y}]$, $[i_Y]$, $[i_\Delta]$.

$$[u_s] = -[F]^{-1} \cdot [L_{sr}] \cdot [B]^{-1} \cdot [u_r], \quad (14)$$

$$[i_s] = -[E]^{-1} \cdot [F]^{-1} \cdot [L_{sr}] \cdot [B]^{-1} \cdot [u_r], \quad (15)$$

$$[i_Y] = -[Z_{\Delta Y}]^{-1} \cdot [Z_\Delta] \cdot [E]^{-1} \cdot [F]^{-1} \cdot [L_{sr}] \cdot [B]^{-1} \cdot [u_r], \quad (17)$$

$$[u_Y] = -[Z_Y] \cdot [Z_{\Delta Y}]^{-1} \cdot [Z_\Delta] \cdot [E]^{-1} \cdot [F]^{-1} \cdot [L_{sr}] \cdot [B]^{-1} \cdot [u_r], \quad (18)$$

$$[i_\Delta] = -[G] \cdot [E]^{-1} \cdot [F]^{-1} \cdot [L_{sr}] \cdot [B]^{-1} \cdot [u_r], \quad (19)$$

$$[u_{\Delta Y}] = -[Z_{\Delta Y}][G] \cdot [E]^{-1} \cdot [F]^{-1} \cdot [L_{SR}] \cdot [B]^{-1} \cdot [u_R], \quad (20)$$

где $[B] = [L_{RR}] + \frac{1}{p} \cdot [r_R]$; $[C] = [L_{SS}] - [L_{SR}] \cdot [B]^{-1} \cdot [L_{RS}]$; $[D] = p[C] + [r_S]$;
 $[E] = [A] \cdot [Z_Y] + [Z_L]$; $[F] = [I] + [D] \cdot [E]^{-1}$;
 $[I] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ – единичная матрица; $[G] = [I] - [Z_{\Delta Y}]^{-1} \cdot [Z_{\Delta}]$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенной работы можно сделать следующие выводы.

1. В данной работе разработана математическая модель канала генерирования бортовой СЭС переменного тока, работающего на смешанную трехфазную активно-индуктивную нагрузку. В составе канала рассматриваются математические модели синхронного генератора в фазной системе координат, математическая модель распределительной сети, математическая модель трехфазной активно-индуктивной нагрузки, соединенной по схемам «звезда с нейтралью» и «треугольник».

2. В работе была использована математическая модель синхронного генератора в фазных координатах «АВС», которая в отличие от модели в координатах «dq» [8, 9, 10] позволяет описывать процессы как в симметричных, так и в несимметричных режимах.

3. Используемая в работе математическая модель статической трехфазной нагрузки в фазных координатах «АВС» позволяет учитывать возможность соединения нагрузки по схемам «звезда с нейтралью» и «треугольник» и описывает в общем случае несимметричную нагрузку.

4. На основе полученной математической модели канала СЭС были получены выражения для напряжений и токов обмотки статора синхронного генератора, падений напряжений на нагрузке, падений напряжений на соединительных проводах. Построение переходных процессов по полученным выражениям позволяет более детально изучить работу канала СЭС при различных режимах: как нормальных, так и ненормальных, и аварийных. В связи с этим появляется возможность контролировать поведение СЭС при любом ненормальном режиме, тем самым значительно снижая вероятность возникновения аварийных ситуаций в полете. Как следствие, это приводит к значительному повышению уровня безопасности полетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демченко А.Г. Моделирование элементов бортовых систем электроснабжения в программной среде MATLAB // Сборник тезисов докладов московской молодежной научно-практической конференции «Инновации в авиации и космонавтике – 2012». М.: ООО «Принт-салон», 2012. С. 13–14.

2. Артеменко Ю.П., Шарапов С.С. Применение Matlab в моделировании бортовой системы электроснабжения переменного тока // Научный Вестник МГТУ ГА. 2012. № 185. С. 77–84.

3. Артеменко Ю.П., Демченко А.Г. Моделирование параллельной работы бортовой системы электроснабжения переменного тока в пакете MATLAB // Научный Вестник МГТУ ГА. 2012. № 185. С. 55–60.

4. Демченко А.Г. Модель канала бортовой системы электроснабжения переменного тока // Научный Вестник МГТУ ГА. 2014. № 201. С. 74–85.
5. Артеменко Ю.П., Демченко А.Г. Совершенствование модели канала бортовой системы электроснабжения переменного тока // Научный Вестник МГТУ ГА. 2015. № 213. С. 34–42.
6. Карабашев Г.П. Моделирование режимов трехфазной цепи с поперечной несимметрией // Открытое образование. 2015. № 3. С. 51–56.
7. Закарюкин В.П., Крюков А.В. Моделирование элементов электрических систем в фазных координатах // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2005, № 3–1 (23). С. 96–102.
8. Мамиконянц Л.Г. Анализ некоторых аспектов переходных и асинхронных режимов синхронных и асинхронных машин. М.: ЭЛЕКС-КМ, 2006. 368 с.
9. Гусейнов А.М., Ибрагимов Ф.Ш. Расчет в фазных координатах несимметричных установившихся и переходных режимов в сложных электроэнергетических системах // Электричество. 2012. № 5. С. 10–17.
10. Дед А.В., Бирюков С.В., Паршукова А.В. Имитационное моделирование в MATLAB длительных несимметричных режимов систем электроснабжения // Омский научный вестник. 2015. № 3 (143). С. 248–250.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Демченко Алексей Геннадьевич, старший преподаватель кафедры ТЭ АЭСиПНК МГТУ ГА, demmasterr@yandex.ru.

MODEL OF AIRCRAFT ELECTRICAL POWER SUPPLY SYSTEM CHANNEL OF ALTERNATIVE CURRENT RUNNING ON A GENERALIZED UNBALANCED THREE-PHASE LOAD

Aleksej G. Demchenko¹

¹Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia

ABSTRACT

This article is devoted to mathematical modeling of the channel of AC on-board power supply systems (PSS) when running on static active-inductive load, connected on a "wye with neutral" and "delta". The mathematical model of aircraft synchronous generator, electricity distribution, three-phase static active-inductive load are considered. When making a mathematical description the author used the equations for the voltages of windings and flux linkages circuits of the stator and rotor of the generator in a stationary system phase coordinates "ABC". When considering the mathematical model of the distribution system, the equations that took into account the drop of the voltages on the active and inductive resistance of the distribution system power wires were used. When considering the mathematical models of three-phase static loads connected on a "wye with neutral" and "delta", the equations that took into account the drop of the voltages on the active and inductive resistance loads were used. The matrix equations system of channel PSS AC when running on a generalized three-phase static active-inductive load was obtained. The three phase static loads scheme connected according to the "delta" scheme was converted to "wye" to simplify the solution of channel PSS AC circuit matrix equations system. The choice of the phase coordinates system "ABC" for the mathematical description of the generator, distribution system and the static load was made due to its advantage over the coordinate system "dq", because the equation written in phase coordinates are valid for symmetric and asymmetric modes of the generator, while the equations written in the coordinate system "dq" will be valid only for symmetric modes. As a result of joint solution of the generator equations, distribution system, three-phase static loads there were obtained the formulae for the generator stator winding phases, generator phases currents, the voltage drops on the load phases and load phases currents connected on a "wye with neutral" and "delta".

Key words: math modeling, electrical power-supply system, synchronous generator, three-phase load.

REFERENCES

1. **Demchenko A.G.** *Modelirovanie elementov bortovykh system elektrosnabzheniya* [Simulation of on-board power supply systems in MATLAB]. *Moskovskaya molodyozhnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Innovatsii v aviatsii i kosmonavtike – 2012"* [Moscow youth scientific-practical conference "Innovations in aviation and cosmonautics – 2012"]. *Sbornik dokladov* [The book of abstracts]. Moscow, Print-salon Publ., 2012, pp. 13–14. (in Russian)
2. **Artemenko Yu.P., Scharapov S.S.** *Primenenie MATLAB v modelirovanii bortovoy sistemy elektrosnabzheniya peremennogo toka* [Application of matlab in simulation of airborne power-supply system alternating-current]. *Nauchnyy Vestnik MGTU GA* [The Scientific Bulletin of the MSTUCA], 2012, no. 185, pp. 77–84. (in Russian)
3. **Artemenko Yu.P., Demchenko A.G.** *Modelirovaniye parallel'noy raboty bortovoy sistemy elektrosnabzheniya peremennogo toka v pakete MATLAB* [Simulation of parallel working of alternate current airborne power-supply system in matlab]. *Nauchnyy Vestnik MGTU GA* [The Scientific Bulletin of the MSTUCA], 2012, no. 185, pp. 55–60.
4. **Demchenko A.G.** *Model' kanala bortovoy sistemy elektrosnabzheniya peremennogo toka* [Model of channel airborn electrical power system]. *Nauchnyy Vestnik MGTU GA* [The Scientific Bulletin of the MSTUCA], 2014, no. 201, pp. 74–85. (in Russian)
5. **Artemenko Yu.P., Demchenko A.G.** *Sovershenstvovaniye modeli kanala bortovoy sistemy elektrosnabzheniya peremennogo toka* [Improving model of channel airborn electrical power system of alternating current]. *Nauchnyy Vestnik MGTU GA* [The Scientific Bulletin of the MSTUCA], 2015, no. 213, pp. 34–42. (in Russian)
6. **Karabashev G.P.** *Modelirovanie rezhimov trykhfaznoj tsepi s poperechnoy nesimmetriey* [Modelling of modes of a three-phase chain with cross-section asymmetry]. *Otkrytoe obrazovanie* [Open education], 2015, no. 3, pp. 51–56. (in Russian)
7. **Zakarjugin V.P., Krjukov A.V.** *Modelirovanie jelementov jelektricheskikh sistem v faznykh koordinatakh* [Modeling elements of electrical systems in phase coordinates]. *Vestnik irkutskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta* [The Bulletin of Irkutsk state technical university], 2005, no. 3–1 (23), pp. 96–102.
8. **Mamikonyants L.G.** *Analiz nekotorykh aspektov perekhodnykh i asinkhronnykh rezhimov sinkhronnykh i asinkhronnykh mashin* [Analysis of some aspects of the transient and asynchronous modes of the synchronous and asynchronous machines]. Moscow, ELEX-KM Publ., 2006, 368 p. (in Russian)
9. **Guseinov A.M., Ibragimov F.S.** *Raschet v faznykh koordinatakh nesimmetrichnykh ustanovivshikhsya i perekhodnykh rezhimov v slozhnykh elektroenergeticheskikh sistemakh* [The calculation of the unbalanced steady-state and transient operating modes in complex power systems in phase coordinates]. [Electricity], 2012, no. 5, pp. 10–17. (in Russian)
10. **Ded A.V., Biryukov S.V., Parshukova A.V.** *Imitacionnoe modelirovanie v matlab dlitel'nykh nesimmetrichnykh rezhimov sistem jelektrosnabzheniya*. [Simulation in Matlab long asymmetrical modes of power supply systems]. *Omskij nauchnyy vestnik* [Omsk scientific bulletin], 2015, no. 3(143), pp. 248–250. (in Russian)

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Demchenko Aleksey Gennad'evich, Assistant Professor of Chair of Aircraft Electrical Systems and Avionics Technical Operation of the Moscow State University of Civil Aviation, demmasterr@yandex.ru.