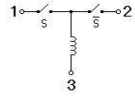
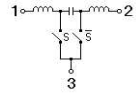
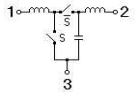
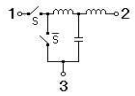
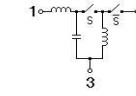
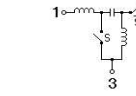
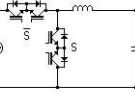
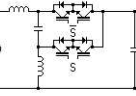
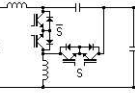
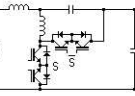
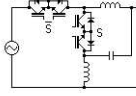
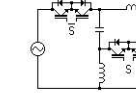
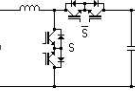
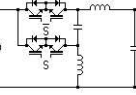
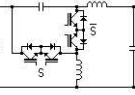
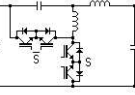
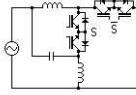
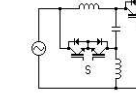
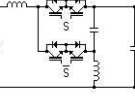
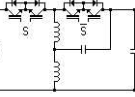
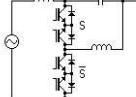
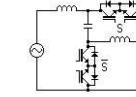


# Dodatek A

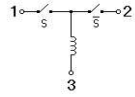
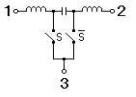
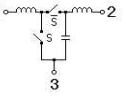
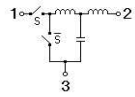
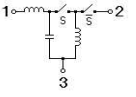
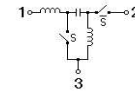
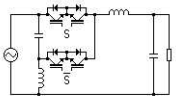
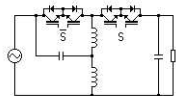
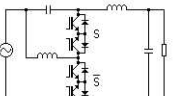
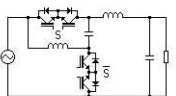
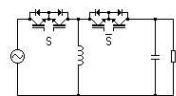
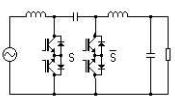
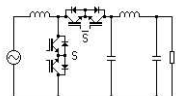
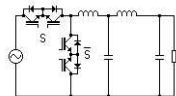
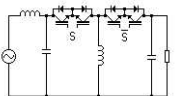
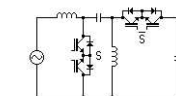
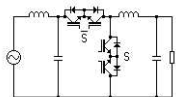
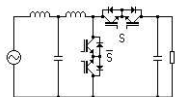
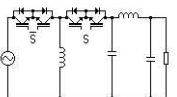
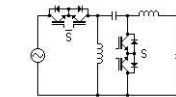
## Jednofazowe topologie SMR

Na rys. A1 pokazano zestawienie układów jednofazowych z SMR o topologiach dwu-łącznikowych drugiego i czwartego rzędu. Pokazane topologie bazują na dwu-łącznikowych topologiach przekształtników DC/DC przedstawionych w pracy [149]. Pod każdym z układów zamieszczono zależność lub zależności przybliżonej wartości współczynnika transformacji napięciowej  $M$  (wzmocnienia napięcia) przedstawionych układów. W układach grupy F dla wartości współczynnika wypełnienia impulsu  $D < 0,5$  (dla łącznika  $s$ ) występuje transformowanie napięcia przemiennego według zależności  $M$  umieszczonej wyżej, a dla  $D < 0,5$  (dla łącznika  $\bar{s}$ ) według zależności  $M$  umieszczonej niżej.

Oprócz układów dwu-łącznikowych, pokazanych na rys. A1, znane są również topologie przekształtników DC/DC cztero-łącznikowe [149] oraz o topologiach złożonych [99], które mogą być również adaptowane do transformowania napięć przemiennych.

K O N F I G.	GRUPA „A” 	GRUPA „B” 	GRUPA „C” 	GRUPA „D” 	GRUPA „E” 	GRUPA „F” 
1	 $M \approx D$	 $M \approx D$	 $M \approx -D/(1-D)$	 $M \approx 1/(1-D)$	 $M \approx D$	 $M \approx D/(2D-1)$ lub $M \approx (1-D)/(1-2D)$
2	 $M \approx 1/(1-D)$	 $M \approx 1/(1-D)$	 $M \approx -D/(1-D)$	 $M \approx D$	 $M \approx 1/(1-D)$	 $M \approx (2D-1)/D$ lub $M \approx (1-2D)/(1-D)$
3	TAK SAMO JAK 1 POWYŻEJ	TAK SAMO JAK 1 POWYŻEJ	 $M \approx 1/(1-D)$	 $M \approx -D/(1-D)$	 $M \approx D$	 $M \approx (1-D)/(1-2D)$ lub $M \approx D/(2D-1)$

Rys. A.1. Układy jednofazowe z SMR o topologiach dwu-łącznikowych drugiego i czwartego rzędu

K O N F I G.	GRUPA „A” 	GRUPA „B” 	GRUPA „C” 	GRUPA „D” 	GRUPA „E” 	GRUPA „F” 
4	TAK SAMO JAK 2 POWYŻEJ	TAK SAMO JAK 2 POWYŻEJ	 $M \approx D$	 $M \approx -D/(1-D)$	 $M \approx 1/(1-D)$	 $M \approx (2D-1)/D$ lub $M \approx (1-2D)/(1-D)$
5	 $M \approx -D/(1-D)$	 $M \approx -D/(1-D)$	 $M \approx 1/(1-D)$	 $M \approx D$	 $M \approx -D/(1-D)$	 $M \approx D/(1-D)$
6	TAK SAMO JAK 5 POWYŻEJ	TAK SAMO JAK 5 POWYŻEJ	 $M \approx D$	 $M \approx 1/(1-D)$	 $M \approx -D/(1-D)$	 $M \approx D/(1-D)$

Rys. A.1 c.d. Układy jednofazowe z SMR o topologiach dwu-łącznikowych drugiego i czwartego rzędu

## Dodatek B

### Zbieżność rozwiązań równań (3.1) oraz (3.3) dla $T_S \rightarrow 0$

**Równanie (3.1).** Korzystając przekształcenia Lapunowa (B.1) [45], równanie (3.1) przekształcamy w równanie o stałych współczynnikach (B.2) [83], [85], [87].

$$x = \mathbf{L}(t)z, \quad (\text{B.1})$$

$$\frac{d\mathbf{Z}}{dt} = \mathbf{K}\mathbf{Z} + \mathbf{L}^{-1}(t)\mathbf{B}(t), \quad (\text{B.2})$$

gdzie:  $\mathbf{L}^{-1}(t)$  - macierz odwrotna macierzy Lapunowa  $\mathbf{L}(t)$ . Macierze  $\mathbf{L}(t)$  oraz  $\mathbf{K}$  są określane za pomocą równania (B.3) i warunków  $\mathbf{L}(0) = \mathbf{1}$  oraz  $\mathbf{L}(t) = \mathbf{L}(t + T_S)$ , gdzie:  $\mathbf{1}$  - macierz jednostkowa,  $T_S$  - okres przełączania, i mają postaci (B.4) oraz (B.5).

$$\frac{d\mathbf{L}(t)}{dt} = \mathbf{A}(t)\mathbf{L}(t) - \mathbf{L}(t)\mathbf{K}. \quad (\text{B.3})$$

$$\mathbf{K} = \frac{1}{T_S} \ln \left[ e^{\mathbf{A}_2(T_S - t_1)} e^{\mathbf{A}_1 t_1} \right], \quad (\text{B.4})$$

$$\mathbf{L}(t) = \begin{cases} e^{\mathbf{A}_1 t} e^{-\mathbf{K}t} & \text{dla } 0 \leq t \leq t_1 \\ e^{\mathbf{A}_2(t-t_1)} e^{\mathbf{A}_1 t_1} e^{-\mathbf{K}t} & \text{dla } t_1 \leq t \leq T_S \end{cases}, \quad (\text{B.5})$$

gdzie:  $t_1$  - czas włączenia łącznika (rys.1.2a). Następnie równanie (B.3) przekształcamy do postaci operatorowej (B.6) za pomocą przekształcenia Laplace'a.

$$s\mathbf{Z} = \mathbf{K}\mathbf{Z} + \mathbf{N}(s) * \left[ \mathbf{S}(s) * \frac{U_{\max} \omega}{s^2 + \omega^2} \right] \mathbf{B}, \quad (\text{B.6})$$

gdzie:  $\mathbf{N}(s)$  – transformata Laplace'a  $\mathbf{N}(t) = \mathbf{L}^{-1}(t)$ ,  $\mathbf{S}(s)$  – macierz transformat funkcji przełączającej  $s(t)$  (rys.1.2a).  $\mathbf{Z}$  (B.6) otrzymujemy:

$$\mathbf{Z}(s) = (s\mathbf{1} - \mathbf{K})^{-1} \mathbf{N}(s) * \left[ \mathbf{S}(s) * \frac{U_{\max} \omega}{s^2 + \omega^2} \right] \mathbf{B}, \quad (\text{B.7})$$

Granica tego wyrażenia (B.7) dla okresu przełączania  $T_S \rightarrow 0$  ma postać:

$$\mathbf{Z}(s)_{T_S \rightarrow 0} = \lim_{T_S \rightarrow 0} \mathbf{Z}(s) = [s\mathbf{1} - \mathbf{A}(D)]^{-1} \frac{U_{\max} \omega}{s^2 + \omega^2} \mathbf{B}, \quad (\text{B.8})$$

stąd, uwzględniając (B.1), (B.7) oraz  $s = \pm j\omega$ , otrzymujemy oryginał rozwiązania dla  $T_S \rightarrow 0$  [83], [85], [87]:

$$\mathbf{x}(t)_{T_S \rightarrow 0} = U_{\max} [\omega^2 \mathbf{1} + \mathbf{A}^2(D)]^{-1} [-\mathbf{A}(D) \sin \omega t - \omega \mathbf{1} \cos \omega t] \mathbf{B}. \quad (\text{B.9})$$

**Równanie (3.3).** Przekształcając równanie (3.3) do postaci operatorowej za pomocą przekształcenia Laplace'a oraz uwzględniając transformatę tylko pierwszej harmonicznej wektora  $\mathbf{B}(D, t)$ , otrzymujemy:

$$\bar{\mathbf{x}}(s) = [s\mathbf{1} - \mathbf{A}(D)]^{-1} \frac{U_{\max} N \sin \frac{\pi}{N} \left( -s \sin \frac{\pi}{N} + \omega \cos \frac{\pi}{N} \right)}{\pi(s^2 + \omega^2)} \mathbf{B}, \quad (\text{B.10})$$

gdzie:  $N = T/T_S$ . Uwzględniając (B.10) oraz  $s = \pm j\omega$ , otrzymujemy oryginał rozwiązania równania (3.3):

$$\bar{\mathbf{x}}(t) = U_{\max} \frac{N \sin \frac{\pi}{N}}{\pi} [\omega^2 \mathbf{1} + \mathbf{A}^2(D)]^{-1} \left[ \left( \mathbf{A}(D) \sin \frac{\pi}{N} - \omega \mathbf{1} \cos \frac{\pi}{N} \right) \cos \omega t - \left( \omega \mathbf{1} \sin \frac{\pi}{N} + \mathbf{A}(D) \cos \frac{\pi}{N} \right) \sin \omega t \right] \mathbf{B}. \quad (\text{B.11})$$

Dla  $T_S \rightarrow 0$  (B.11) przyjmuje postać:

---

$$\bar{\mathbf{x}}(t)_{T_S \rightarrow 0} = \lim_{T_S \rightarrow 0} \bar{\mathbf{x}}(t) = U_{\max} [\omega^2 \mathbf{1} + \mathbf{A}^2(D)]^{-1} [-\mathbf{A}(D) \sin \omega t - \omega \mathbf{1} \cos \omega t] \mathbf{B}. \quad (\text{B.12})$$

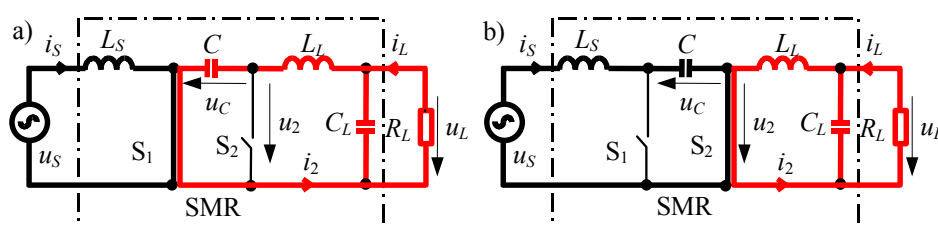
Porównując (B.12) i (B.9) widać, że rozwiązania równań (3.1) oraz (3.3) dla  $T_S \rightarrow 0$  mają taką samą postać. A zatem,

$$\bar{\mathbf{x}}(t)_{T_S \rightarrow 0} = \mathbf{x}(t)_{T_S \rightarrow 0} = \bar{\mathbf{x}}_1(t) = \mathbf{x}_1(t). \quad (\text{B.13})$$

## Dodatek C

### Wyprowadzenie równań (3.20)

Schematy zastępcze układu z SMR o topologii typu Ćuk (rys.2.35) pokazano na rys. C.1.



Rys. C.1. Schematy zastępcze układu z SMR jednobiegunowym o topologii typu Ćuk, a) w stanie włączenia łącznika  $S_1$  i wyłączenia łącznika  $S_2$ , b) w stanie włączenia łącznika  $S_2$  i wyłączenia łącznika  $S_1$

Równania zmiennych stanu dla schematów zastępczych pokazanych na rys. C.1 są następujące:

$$\begin{bmatrix} L_s \frac{di_s}{dt} \\ C \frac{du_c}{dt} \\ L_L \frac{di_2}{dt} \\ C_L \frac{du_L}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & \frac{-1}{R_L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_s \\ u_c \\ i_2 \\ u_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u_s, \quad (\text{C.1})$$

$$\begin{bmatrix} L_S \frac{di_S}{dt} \\ C \frac{du_C}{dt} \\ L_L \frac{di_2}{dt} \\ C_L \frac{du_L}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & \frac{-1}{R_L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_S \\ u_C \\ i_2 \\ u_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_2 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u_S. \quad (C.2)$$

Stąd, uwzględniając (3.6) – (3.9), otrzymujemy równania uśrednionych zmiennych stanu (C.3), które w podrozdziale 3.3.3 są przedstawione jako zależność (3.20).

$$\begin{bmatrix} L_S \frac{d\bar{i}_S}{dt} \\ C \frac{d\bar{u}_C}{dt} \\ L_L \frac{d\bar{i}_2}{dt} \\ C_L \frac{d\bar{u}_L}{dt} \end{bmatrix} \approx \left( \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{DA_1}{R_L} & 0 \\ 0 & 0 & -D & 0 \\ 0 & D & 0 & -D \\ 0 & 0 & D & \frac{-D}{R_L} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -(1-D) & 0 & 0 \\ (1-D) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{-(1-D)}{R_L} \\ 0 & 0 & 1 & \frac{-(1-D)}{R_L} \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} \bar{i}_S \\ \bar{u}_C \\ \bar{i}_2 \\ \bar{u}_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} DB_1 \\ D \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (1-D)B_2 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u_S = \begin{bmatrix} 0 & -(1-D) & 0 & 0 \\ (1-D) & 0 & -D & 0 \\ 0 & D & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & \frac{-1}{R_L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{i}_S \\ \bar{u}_C \\ \bar{i}_2 \\ \bar{u}_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u_S \quad (C.3)$$



# Dodatek D

## Parametry czwórnikowe

Tablica D.1. Parametry hybrydowe  $\underline{\mathbf{G}}$  i  $\underline{\mathbf{H}}$  obwodu głównego SMR jednobiegunowych o topologiach typu Zeta oraz Sepic

TOPOLOGIA TYPU ZETA		TOPOLOGIA TYPU SEPIC	
PARAMETR	ZALEŻNOŚĆ	PARAMETR	ZALEŻNOŚĆ
$\underline{G}_{11} = \left( \frac{I_s}{U_s} \right)_{U_2=0}$	$\frac{-jD^2\omega C}{\omega^2 L_s C - (1-D)^2}$	$H_{11} = \left( \frac{U_s}{I_s} \right)_{U_2=0}$	$\frac{-j(1-D)^2\omega L_L}{\omega^2 L_L C - D^2}$
$\underline{G}_{12} = \left( \frac{I_s}{I_2} \right)_{U_S=0}$	$\frac{D^2(1-D)}{\omega^2 L_s C - (1-D)^2} - D$	$H_{12} = \left( \frac{U_s}{U_L} \right)_{I_S=0}$	$(1-D) - \frac{(1-D)^2 D}{\omega^2 L_L C - D^2}$
$\underline{G}_{21} = \left( \frac{U_2}{U_s} \right)_{I_2=0}$	$D - \frac{D^2(1-D)}{\omega^2 L_s C - (1-D)^2}$	$H_{21} = \left( \frac{I_2}{I_s} \right)_{U_L=0}$	$\frac{(1-D)^2 D}{\omega^2 L_L C - D^2} - (1-D)$
$\underline{G}_{22} = \left( \frac{U_2}{I_2} \right)_{U_S=0}$	$\frac{-jD^2\omega L_s}{\omega^2 L_s C - (1-D)^2}$	$H_{22} = \left( \frac{I_2}{U_L} \right)_{I_S=0}$	$\frac{-j(1-D)^2\omega C}{\omega^2 L_L C - D^2}$

Tablica D.2. Parametry hybrydowe  $\underline{\mathbf{H}}$  i  $\underline{\mathbf{G}}$  obwodu głównego SMR dwubiegunowego o topologii typu Ćuk B1 oraz Ćuk B2

TOPOLOGIA TYPU ĆUK B1		TOPOLOGIA TYPU ĆUK B2	
PARAMETR	ZALEŻNOŚĆ	PARAMETR	ZALEŻNOŚĆ
1	2	3	4
$\underline{H}_{11} = \left( \frac{U_s}{I_s} \right)_{U_2=0}$	$\frac{-jD^2\omega L_L}{\omega^2 L_L C - (1-D)^2}$	$G_{11} = \left( \frac{I_s}{U_s} \right)_{U_2=0}$	$\frac{-jD^2\omega C}{\omega^2 L_s C - (1-D)^2}$
$\underline{H}_{12} = \left( \frac{U_s}{U_L} \right)_{I_S=0}$	$\frac{(1-D)[\omega^2 L_L C + (2D-1)]}{\omega^2 L_L C - (1-D)^2}$	$G_{12} = \left( \frac{I_s}{I_2} \right)_{U_S=0}$	$\frac{(1-D)[\omega^2 L_s C + (2D-1)]}{\omega^2 L_s C - (1-D)^2}$

Tablica D.2 c. d.

1	2	3	4
$\underline{H}_{21} = \left( \frac{I_2}{I_s} \right)_{U_L=0}$	$\frac{(1-D)[\omega^2 L_L C + (2D-1)]}{\omega^2 L_L C - (1-D)^2}$	$G_{21} = \left( \frac{U_2}{U_s} \right)_{I_2=0}$	$\frac{(1-D)[\omega^2 L_S C + (2D-1)]}{\omega^2 L_S C - (1-D)^2}$
$\underline{H}_{22} = \left( \frac{I_2}{U_L} \right)_{I_s=0}$	$\frac{-jD^2 \omega C}{\omega^2 L_L C - (1-D)^2}$	$G_{22} = \left( \frac{U_2}{I_2} \right)_{U_s=0}$	$\frac{-jD^2 \omega L_S}{\omega^2 L_S C - (1-D)^2}$

Tablica D.3. Parametry łańcuchowe  $\underline{A}_C$  oraz  $\underline{A}$  obwodów głównego i kompletnego SMR dwubiegowego o topologii typu Ćuk B1 oraz Ćuk B2

PARAMETR	ZALEŻNOŚĆ DLA TOPOLOGII TYPU:	
	ĆUK B1	ĆUK B2
$\underline{A}_{C11} = \left( \frac{U_s}{U_2} \right)_{I_2=0}$	$\frac{(1-D)^2 M^2 - D^4 \omega^2 L_L C}{(1-D)M[\omega^2 L_L C + (2D-1)]};$ $M = \omega^2 L_L C - (1-D)^2$	$\frac{\omega^2 L_S C - (1-D)^2}{(1-D)[\omega^2 L_S C + (2D-1)]}$
$\underline{A}_{C12} = \left( \frac{U_s}{I_2} \right)_{U_2=0}$	$\frac{-jD^2 \omega L_L}{(1-D)[\omega^2 L_L C + (2D-1)]}$	$\frac{-jD^2 \omega L_S}{(1-D)[\omega^2 L_S C + (2D-1)]}$
$\underline{A}_{C21} = \left( \frac{I_s}{U_2} \right)_{I_2=0}$	$\frac{-jD^2 \omega C}{(1-D)[\omega^2 L_L C + (2D-1)]}$	$\frac{-jD^2 \omega C}{(1-D)[\omega^2 L_S C + (2D-1)]}$
$\underline{A}_{C22} = \left( \frac{I_1}{I_2} \right)_{U_2=0}$	$\frac{\omega^2 L_L C - (1-D)^2}{(1-D)[\omega^2 L_L C + (2D-1)]}$	$\frac{(1-D)^2 M^2 - D^4 \omega^2 L_L C}{(1-D)M[\omega^2 L_S C + (2D-1)]};$ $M = \omega^2 L_S C - (1-D)^2$
$\underline{A}_{11} = \left( \frac{U_s}{U_L} \right)_{I_L=0}$	$\underline{A}_{C11} + j\omega L_S \underline{A}_{C21} + j\omega C_L \underline{A}_{C12}$ $- \omega^2 L_S C_L \underline{A}_{C22}$	$\underline{A}_{C11} (1 - \omega^2 L_L C_L) + j\omega C_L \underline{A}_{C12}$
$\underline{A}_{12} = \left( \frac{U_s}{I_L} \right)_{U_L=0}$	$\underline{A}_{C12} + j\omega L_S \underline{A}_{C22}$	$j\omega L_L \underline{A}_{C11} + \underline{A}_{C12}$
$\underline{A}_{21} = \left( \frac{I_s}{U_L} \right)_{I_L=0}$	$\underline{A}_{C21} + j\omega C_L \underline{A}_{C22}$	$\underline{A}_{C21} (1 - \omega^2 L_L C_L) + j\omega C_L \underline{A}_{C22}$
$\underline{A}_{22} = \left( \frac{I_s}{I_L} \right)_{U_L=0}$	$\underline{A}_{C22}$	$j\omega L_L \underline{A}_{C21} + \underline{A}_{C22}$



Tablica D.4. Parametry łańcuchowe  $\underline{A}_C$  oraz  $\underline{A}$  obwodu głównego i kompletnego modelu obwodowego uśrednionego SMR

PARAMETR	ZALEŻNOŚĆ DLA TOPOLOGII TYPU:				
	BOOST	BUCK-BOOST	ĆUK	ZETA	SEPIC
$\underline{A}_{C11} = \left( \frac{U_S}{U_2} \right)_{I_2=0}$	$1-D$	$\frac{1-D}{D}$	$\frac{(1-D)^2 - \omega^2 L_S C}{D(1-D)}$	$\frac{\omega^2 L_S C - (1-D)^2}{D[\omega^2 L_S C - (1-D)]}$	$\frac{(1-D)[\omega^2 C(L_L + L_S) - 1]}{\omega^2 L_L C - D}$
$\underline{A}_{C12} = \left( \frac{U_S}{I_2} \right)_{U_2=0}$	$\frac{j\omega L_S}{1-D}$	$\frac{j\omega L_S}{D(1-D)}$	$\frac{j\omega[(1-D)^2 L_L - L_S(\omega^2 L_L C - D^2)]}{D(1-D)}$	$\frac{-jD\omega L_S}{\omega^2 L_S C - (1-D)}$	$\frac{-j\omega[(1-D)^2 L_L - (\omega^2 L_L C - D^2)L_S]}{(1-D)(\omega^2 L_L C - D)}$
$\underline{A}_{C21} = \left( \frac{I_S}{U_2} \right)_{I_2=0}$	0	0	$\frac{j\omega C}{D(1-D)}$	$\frac{-jD\omega C}{\omega^2 L_S C - (1-D)}$	$\frac{-j(1-D)\omega C}{\omega^2 L_L C - D}$
$\underline{A}_{C22} = \left( \frac{I_1}{I_2} \right)_{U_2=0}$	$\frac{1}{1-D}$	$\frac{D}{1-D}$	$-\frac{\omega^2 L_L C - D^2}{D(1-D)}$	$\frac{D(\omega^2 L_S C - 1)}{\omega^2 L_S C - (1-D)}$	$\frac{\omega^2 L_L C - D^2}{(1-D)(\omega^2 L_L C - D)}$
$\underline{A}_{11} = \left( \frac{U_S}{U_L} \right)_{I_L=0}$	$\underline{A}_{C11} - \frac{\omega^2 L_S C_L}{1-D}$	$\underline{A}_{C11} - \frac{\omega^2 L_S C_L}{D(1-D)}$	$\underline{A}_{C11} + j\underline{A}_{C12}\omega C_L$	$\underline{A}_{C11}(1 - \omega^2 L_L C_L) + j\underline{A}_{C12}\omega C_L$	$\underline{A}_{C11} + j\underline{A}_{C12}\omega C_L$
$\underline{A}_{12} = \left( \frac{U_S}{I_L} \right)_{U_L=0}$	$\frac{j\omega L_S}{1-D}$	$\frac{j\omega L_S}{D(1-D)}$	$\underline{A}_{C12}$	$j\underline{A}_{C11}\omega L_L + \underline{A}_{C12}$	$\underline{A}_{C12}$
$\underline{A}_{21} = \left( \frac{I_S}{U_L} \right)_{I_L=0}$	$\frac{j\omega C_L}{1-D}$	$\frac{jD\omega C_L}{1-D}$	$\underline{A}_{C21} + j\underline{A}_{C22}\omega C_L$	$\underline{A}_{C21}(1 - \omega^2 L_L C_L) + j\underline{A}_{C22}\omega C_L$	$\underline{A}_{C21} + j\underline{A}_{C22}\omega C_L$
$\underline{A}_{22} = \left( \frac{I_S}{I_L} \right)_{U_L=0}$	$\frac{1}{1-D}$	$\frac{D}{1-D}$	$\underline{A}_{C22}$	$j\underline{A}_{C21}\omega L_L + \underline{A}_{C22}$	$\underline{A}_{C22}$



Tablica D.5. Parametry łańcuchowe obwodu głównego  $\underline{A}_C$  SMR izolowanego o topologii typu Ćuk

PARAMETR	ZALEŻNOŚĆ:
$\underline{A}_{C11} = \left( \frac{U_s}{U_2} \right)_{I_2=0}$	$\frac{p[(1-D)^2 - \omega^2 L_s C]}{(1-D)D}$
$\underline{A}_{C12} = \left( \frac{U_s}{I_2} \right)_{U_2=0}$	$\frac{j\omega[(D^2 - p^2 \omega^2 L_L C)L_s + p^2(1-D)^2 L_L]}{p(1-D)D}$
$\underline{A}_{C21} = \left( \frac{I_s}{U_2} \right)_{I_2=0}$	$\frac{jp\omega C}{(1-D)D}$
$\underline{A}_{C22} = \left( \frac{I_1}{I_2} \right)_{U_2=0}$	$\frac{D^2 - p^2 \omega^2 L_L C}{p(1-D)D}$
gdzie: $C = \frac{C_1 C_2}{p^2 C_1 + C_2}$	

## Dodatek E

### Współczynniki harmonicznej podstawowej zmiennych stanu

Współczynniki harmonicznej podstawowej zmiennych stanu (rozwiązania równania (3.1) oraz (3.3)) są następujące [82] – [87]:

$$\mathbf{a}_{1x} = \frac{2}{T} \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^2 (\mathbf{A}_i^2 + \mathbf{1}\omega^2)^{-1} \left\{ \left\{ \mathbf{A}_i \left[ e^{\mathbf{A}_i(t_k^{*i} - t_k^i)} \cos \omega t_k^{*i} - \mathbf{1} \cos \omega t_k^i \right] + \right. \right. \\ \left. \left. \omega \left[ e^{\mathbf{A}_i(t_k^{*i} - t_k^i)} \sin \omega t_k^{*i} - \mathbf{1} \sin \omega t_k^i \right] \right\} \bullet \left\{ \mathbf{x}(t_k^i) + \mathbf{K}_i(t_k^i) \right\} - \mathbf{B}_i \frac{\omega}{2} t_k^{*i} + \right. \\ \left. \mathbf{A}_i \mathbf{B}_i \left( \cos 2\omega t_k^{*i} - \cos 2\omega t_k^i \right) \frac{1}{4\omega} - \mathbf{B}_i \left( \sin 2\omega t_k^{*i} - \sin 2\omega t_k^i \right) \frac{1}{4} \right\} \quad (\text{E.1})$$

$$\mathbf{b}_{1x} = \frac{2}{T} \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^2 (\mathbf{A}_i^2 + \mathbf{1}\omega^2)^{-1} \left\{ \left\{ \mathbf{A}_i \left[ e^{\mathbf{A}_i(t_k^{*i} - t_k^i)} \sin \omega t_k^{*i} - \mathbf{1} \sin \omega t_k^i \right] + \right. \right. \\ \left. \left. \omega \left[ -e^{\mathbf{A}_i(t_k^{*i} - t_k^i)} \cos \omega t_k^{*i} - \mathbf{1} \cos \omega t_k^i \right] \right\} \bullet \left\{ \mathbf{x}(t_k^i) + \mathbf{K}_i(t_k^i) \right\} - \mathbf{A}_i \mathbf{B}_i \frac{1}{2} + \right. \\ \left. \mathbf{A}_i \mathbf{B}_i \left( \sin 2\omega t_k^{*i} - \sin 2\omega t_k^i \right) \frac{1}{4\omega} - \mathbf{B}_i \left( \cos 2\omega t_k^{*i} - \cos 2\omega t_k^i \right) \frac{1}{4} \right\} \quad (\text{E.2})$$

$$\bar{\mathbf{a}}_{1x} = [\mathbf{A}^2(D) + \mathbf{1}\omega^2]^{-1} \left[ \mathbf{A}(D) \sin \frac{\pi}{N} - \mathbf{1}\omega \cos \frac{\pi}{N} \right] \mathbf{B}(D), \quad (\text{E.3})$$

$$\bar{\mathbf{b}}_{1x} = [\mathbf{A}^2(D) + \mathbf{1}\omega^2]^{-1} \left[ -\mathbf{A}(D) \cos \frac{\pi}{N} - \mathbf{1}\omega \sin \frac{\pi}{N} \right] \mathbf{B}(D), \quad (\text{E.4})$$

gdzie:  $i = 1, 2$  – liczba interwałów czasowych podczas okresu przełączania  $T_S$ ;  
 $t_k^i$  – czas początkowy  $i$  – tego interwału podczas  $k$  – tego okresu przełączania;

$$t_k^i = \begin{cases} t_k, & i = 1 \\ t_k + \tau, & i = 2 \end{cases}; \quad t_k - \text{czas początkowy } k - \text{tego okresu przełączania;}$$

$$1 \leq k \leq N; \quad N = T/T_S; \quad t_1 = 0; \quad t_2 = T_S, \dots, \quad t_N = T - T_S;$$

$$\mathbf{A}_i = \begin{cases} \mathbf{A}_1, & t_k \leq t \leq t_k + \tau, (s = 1), \\ \mathbf{A}_2, & t_k + \tau \leq t \leq t_k + T_S, (s = 0) \end{cases}; \quad \mathbf{B}_i = \begin{cases} \mathbf{B}_1, & t_k \leq t \leq t_k + \tau, (s = 1), \\ \mathbf{B}_2, & t_k + \tau \leq t \leq t_k + T_S, (s = 0) \end{cases};$$

$\mathbf{K}_i(t) = (\mathbf{A}_i^2 + \mathbf{1}\omega^2)^{-1} (\mathbf{1}\omega \cos \omega t + \mathbf{A}_i \sin \omega t) \mathbf{B}_i$ ;  $\mathbf{1}$  – macierz jednostkowa;  $(\dots)^{-1}$  – macierz odwrotna;  $t_k^{*i}$  – kolejny czas po  $t_k^i$ .



## Dodatek F

### Parametry badanych układów

Tablica F.1. Parametry układów z SMR w warunkach dopasowania

NAZWA PARAMETRU	SYMBOL	WARTOŚĆ
Napięcie zasilania	$U_{Smax}$	310 V / 50 Hz
Impedancja obciążenia	$Z_L$	$Z_L = R_L = 10 \Omega$
Częstotliwość przełączania	$f_S$	5 kHz
Indukcyjność źródła	$L_S$	1 mH
Pojemność buforująca	$C$	10 $\mu$ F
Indukcyjność obciążenia	$L_L$	1 mH
Pojemność obciążenia	$C_L$	10 $\mu$ F

Tablica F.2. Parametry układów z SMR w warunkach wewnętrznego niedopasowania parametrycznego

NAZWA PARAMETRU	SYMBOL	WARTOŚĆ:	
		DLA $\sqrt{L_S/C} = 0,01\sqrt{L_L/C_L}$	DLA $\sqrt{L_S/C} = 100\sqrt{L_L/C_L}$
Napięcie zasilania	$U_{Smax}$	310 V / 50 Hz	
Impedancja obciążenia	$Z_L$	$Z_L = R_L = 10 \Omega$	
Częstotliwość przełączania	$f_S$	5 kHz	
Indukcyjność źródła	$L_S$	0,01 mH	1 mH
Pojemność buforująca	$C$	1000 $\mu$ F	10 $\mu$ F
Indukcyjność obciążenia	$L_L$	1 mH	0,01 mH
Pojemność obciążenia	$C_L$	10 $\mu$ F	1000 $\mu$ F