

Supplementary Information

Oxygen reduction reaction on silver electrodes under strong alkaline conditions

Saikrishnan Kandaswamy^a, Antonio Sorrentino^a, Shivangi Borate^b, Luka A. Živković^c, Menka Petkovska^c, Tanja Vidaković-Koch^{a,*}

^aMax Planck Institute for Dynamics of Complex Technical Systems, Sandtorstr. 1, 39106 Magdeburg, Germany.

^bOtto von Guericke University, Universitätsplatz 2, 39106 Magdeburg, Germany.

^cFaculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, Karnegijeva 4, Serbia.

1. Effect of prolonged cycling on CV in 0.1 M NaOH

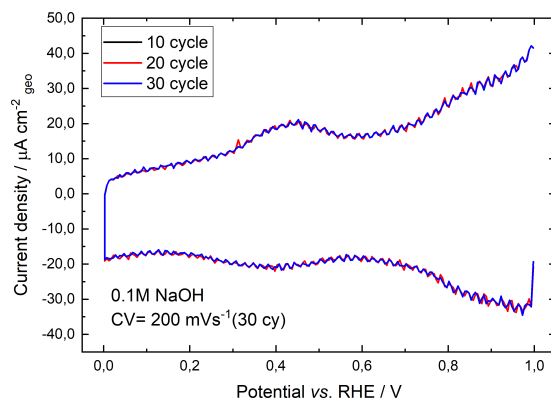


Figure 1: Effect of cycling in 0.1 M NaOH

*Corresponding author

Email address: vidakovic@mpi-magdeburg.mpg.de (Tanja Vidaković-Koch)

2. Surface coverage due to underpotential Ag oxides

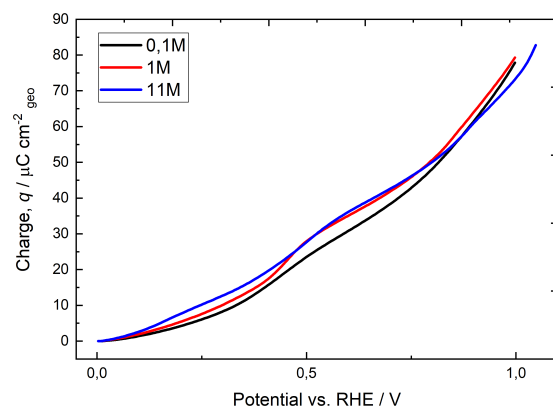


Figure 2: Total exchanged charge densities for underpotential deposition of silver oxides

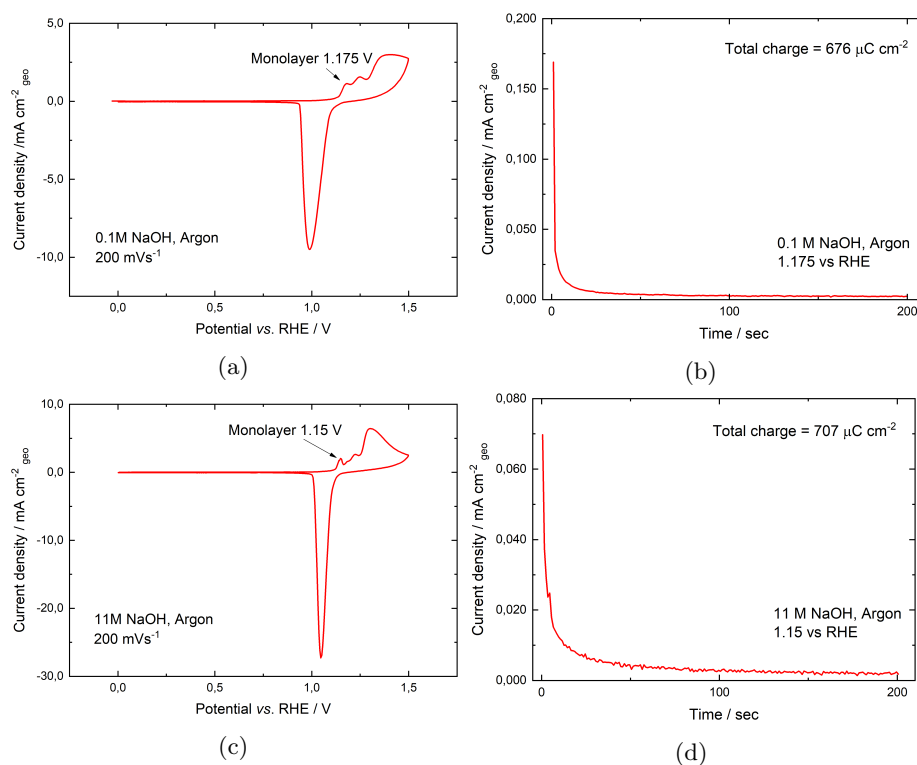


Figure 3: Silver CV in the extended potential window for (a) 0.1 M and (c) 11 M NaOH. Current transients for (b) 0.1 M and (d) 11 M.

3. Tafel plot for ORR in 0.1 M NaOH

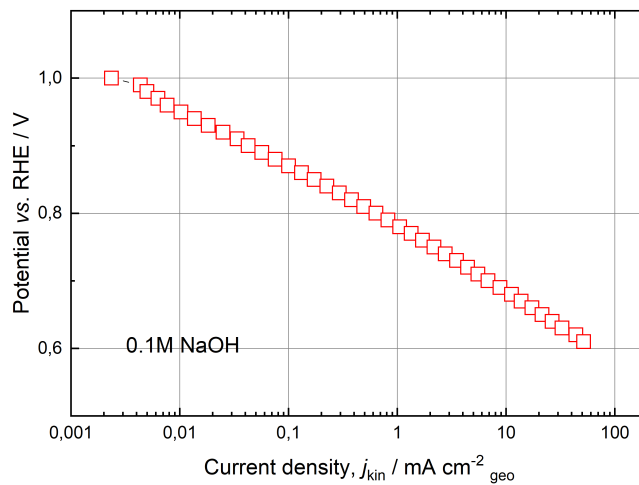


Figure 4: Tafel plot for ORR in 0.1 M NaOH

4. Quasi-Steady State responses

Quasi-steady state responses were recorded for the Oxygen Reduction Reaction (ORR) for the following different electrolyte concentrations.

1. 0.1 M of NaOH solution
2. 1 M of NaOH solution
3. 11 M of NaOH solution

The simulated and experimental plots for all three electrolyte concentrations were recorded for electrode rotation speed of 400 rpm.

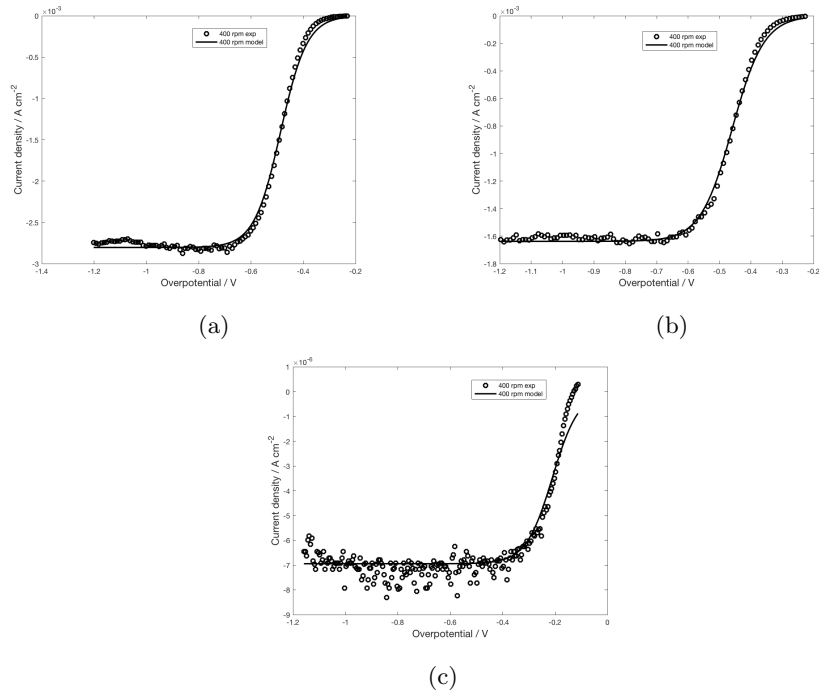


Figure 5: Simulated and experimental steady state responses of ORR on silver at 400 rpm in (a) 0.1 M (b) 1 M and (c) 11 M NaOH solution

5. Nyquist plot for all electrolyte concentration

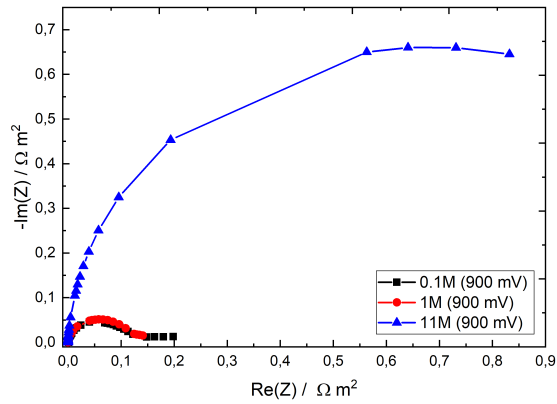


Figure 6: Nyquist plot for ORR in different NaOH concentrations and at 0.9 V, rotation rate 1600 rpm

6. Analytical expressions of Nonlinear Frequency Response functions

The dynamic model equations presented in section 3 of the main article were used for the automatic derivation of the analytical expressions of first and second order frequency response functions.[1]

The first and second order frequency response functions were derived for the forced periodic change of the potential (input) around its steady state value. The first order frequency response function of the main output, current density, is defined as:

$$H_1(f) = \frac{j_s}{E_s} \cdot G_{1j}(f)$$

$G_{1j}(f)$ is the non-dimensional first order frequency response function for the current density:

$$\begin{aligned} G_{1j}(f) = & -(E_s \cdot j_s \cdot (4 \cdot D^5 \cdot F^2 \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot k_{app} \cdot 2^3 \\ & + C_{dl} \cdot D^5 \cdot R \cdot T \cdot f \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 1i \\ & - C_{dl} \cdot R \cdot T \cdot \delta^6 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^4 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\ & - 2 \cdot C_{dl} \cdot D \cdot R \cdot T \cdot \delta^5 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\ & - 4 \cdot D^3 \cdot F^2 \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot k_{app} \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \\ & + 8 \cdot D^3 \cdot F^2 \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot k_{app} \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^3 \\ & + 8 \cdot D^4 \cdot F^2 \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta \cdot k_{app} \cdot k_{rs} \cdot 2^3 \\ & - C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^4 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\ & - C_{dl} \cdot D^4 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot f^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\ & + D^4 \cdot F^2 \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot f \cdot k_{app} \cdot 2^2 \cdot 4i \\ & + C_{dl} \cdot D^4 \cdot R \cdot T \cdot \delta \cdot f \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 2i \\ & + C_{dl} \cdot D^4 \cdot R \cdot T \cdot \delta \cdot f \cdot k_{rs} \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 3i \\ & + C_{dl} \cdot D \cdot R \cdot T \cdot \delta^4 \cdot f \cdot k_{rs}^4 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 2i \\ & + D^3 \cdot F^2 \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^3 \cdot f \cdot k_{app} \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \cdot 8i \\ & - C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^4 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\ & + C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot f \cdot k_{rs}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 1i \\ & + C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot f \cdot k_{rs}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 3i \\ & - 2 \cdot C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot f^2 \cdot k_{rs} \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\ & - 2 \cdot C_{dl} \cdot D \cdot R \cdot T \cdot \delta^5 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\ & + D^2 \cdot F^2 \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^4 \cdot f \cdot k_{app} \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \cdot 4i \\ & + C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot f \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 6i \\ & + C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot f \cdot k_{rs}^3 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 4i \\ & - 4 \cdot C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^4 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\ & + C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot f \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 2i \\ & - 2 \cdot C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot f^2 \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T))) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \cdot (C_{dl} \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^6 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^4 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T))) \\
& + R \cdot T \cdot \delta^6 \cdot f \cdot k_{rs}^4 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 1i \\
& - 6 \cdot D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 4 \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 2 \cdot D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D \cdot R \cdot T \cdot \delta^5 \cdot f \cdot k_{rs}^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 2i \\
& - 3 \cdot D^4 \cdot R \cdot T \cdot \delta \cdot k_{rs} \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 2 \cdot D \cdot R \cdot T \cdot \delta^4 \cdot k_{rs}^4 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^4 \cdot f \cdot k_{rs}^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 1i \\
& + D^4 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot f \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 1i \\
& - D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 3 \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 4 \cdot D^5 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot k_{app} \cdot 2^3 \\
& - D^5 \cdot R \cdot T \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^4 \cdot f \cdot k_{rs}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 4i \\
& + D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot f \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 2i \\
& + D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^4 \cdot f \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 1i \\
& + C_{dl} \cdot D^5 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot f \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 1i \\
& + D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot f \cdot k_{rs} \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 2i \\
& + D \cdot R \cdot T \cdot \delta^5 \cdot f \cdot k_{rs}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 2i \\
& + D^4 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot f \cdot k_{app} \cdot 2^2 \cdot 4i \\
& + 2 \cdot C_{dl} \cdot D \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^5 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D^3 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot k_{app} \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \\
& - 8 \cdot D^3 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot k_{app} \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^3 \\
& - 8 \cdot D^4 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta \cdot k_{app} \cdot k_{rs} \cdot 2^3 \\
& + C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^4 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + C_{dl} \cdot D^4 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^2 \cdot f^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^2 \cdot f \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \\
& \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 6i \\
& + C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^3 \cdot f \cdot k_{rs}^3 \cdot 2^2 \\
& \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 4i \\
& + 4 \cdot C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^4 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2 \\
& \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^2 \cdot f \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 2i \\
& + 2 \cdot C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^3 \cdot f^2 \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + C_{dl} \cdot D^4 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta \cdot f \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 2i \\
& + C_{dl} \cdot D^4 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta \cdot f \cdot k_{rs} \cdot 2^3
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 3i \\
& + C_{dl} \cdot D \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^4 \cdot f \cdot k_{rs}^4 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 2i \\
& + D^3 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^3 \cdot f \cdot k_{app} \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \cdot 8i \\
& + C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^4 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^2 \cdot f \cdot k_{rs}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 1i \\
& + C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^3 \cdot f \cdot k_{rs}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 3i \\
& + 2 \cdot C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^3 \cdot f^2 \cdot k_{rs} \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot C_{dl} \cdot D \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^5 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^2 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^4 \cdot f \cdot k_{app} \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \cdot 4i)) \\
& /((D^5 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^3 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 3 \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^3 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D^5 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot j_s \cdot k_{app} \cdot 2^3 \\
& + 6 \cdot D^3 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^3 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D^3 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D^4 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 3 \cdot D^4 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta \cdot k_{rs} \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^4 \cdot k_{rs}^4 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - C_{dl} \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^6 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^4 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 8 \cdot D^4 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot j_s \cdot \delta \cdot k_{app} \cdot k_{rs} \cdot 2^3 \\
& - C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^4 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - C_{dl} \cdot D^4 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot f^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 2 \cdot C_{dl} \cdot D \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^5 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 4 \cdot D^3 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot k_{app} \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \\
& + 8 \cdot D^3 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot k_{app} \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^3 \\
& - 2 \cdot C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^3 \cdot f^2 \cdot k_{rs} \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 2 \cdot C_{dl} \cdot D \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^5 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 4 \cdot C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^4 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 2 \cdot C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^3 \cdot f^2 \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^4 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)))^2 \\
& + j_s^2 \cdot f^2 \cdot (D + \delta \cdot k_{rs})^2 \cdot (R \cdot T \cdot \delta^5 \cdot k_{rs}^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D \cdot R \cdot T \cdot \delta^4 \cdot k_{rs}^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + C_{dl} \cdot D^4 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot k_{rs} \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D \cdot R \cdot T \cdot \delta^4 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T))
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D^3 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot k_{app} \cdot 2^2 \\
& + 2 \cdot C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot C_{dl} \cdot D \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^3 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta \cdot k_{rs} \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D^2 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^3 \cdot k_{app} \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \\
& + C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T))^2
\end{aligned}$$

Similarly, the second order frequency response function for the current density as the output is defined as:

$$H_2(f, f) = \frac{2 \cdot j_s}{E_s^2} \cdot G_{2j}(f, f)$$

where $G_{2j}(f, f)$ is the **non-dimensional second order frequency response function for the current density**:

$$\begin{aligned}
G_{2j}(f, f) = & -(2 \cdot (2 \cdot G_{2\eta}(f, -f) \cdot \eta_s + 2 \cdot G_{2j}(f, -f) \cdot R_{ohm} \cdot j_s) \\
& \cdot (-D^5 \cdot F^2 \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot k_{app} \cdot 2^3 \cdot 2i \\
& + C_{dl} \cdot D^5 \cdot R \cdot T \cdot f \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + C_{dl} \cdot R \cdot T \cdot \delta^6 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^4 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 2i \\
& + C_{dl} \cdot D \cdot R \cdot T \cdot \delta^5 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 4i \\
& + D^3 \cdot F^2 \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot k_{app} \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \cdot 2i \\
& - D^3 \cdot F^2 \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot k_{app} \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^3 \cdot 4i \\
& - D^4 \cdot F^2 \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta \cdot k_{app} \cdot k_{rs} \cdot 2^3 \cdot 4i \\
& + C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^4 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 2i \\
& + C_{dl} \cdot D^4 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot f^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 2i \\
& + 4 \cdot D^4 \cdot F^2 \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot f \cdot k_{app} \cdot 2^2 \\
& + 2 \cdot C_{dl} \cdot D^4 \cdot R \cdot T \cdot \delta \cdot f \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 3 \cdot C_{dl} \cdot D^4 \cdot R \cdot T \cdot \delta \cdot f \cdot k_{rs} \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot C_{dl} \cdot D \cdot R \cdot T \cdot \delta^4 \cdot f \cdot k_{rs}^4 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 8 \cdot D^3 \cdot F^2 \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^3 \cdot f \cdot k_{app} \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \\
& + C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^4 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 2i \\
& + C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot f \cdot k_{rs}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 3 \cdot C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot f \cdot k_{rs}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot f^2 \cdot k_{rs} \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 4i \\
& + C_{dl} \cdot D \cdot R \cdot T \cdot \delta^5 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 4i \\
& + 4 \cdot D^2 \cdot F^2 \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^4 \cdot f \cdot k_{app} \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + 8 \cdot D^2 \cdot F^2 \cdot R_{\text{ohm}} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot j_s \cdot \delta^4 \cdot f \cdot k_{\text{app}} \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2 \\
& + 12 \cdot C_{\text{dl}} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{\text{ohm}} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot f \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 8 \cdot C_{\text{dl}} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{\text{ohm}} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^3 \cdot f \cdot k_{r_s}^3 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + C_{\text{dl}} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{\text{ohm}} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^4 \cdot f^2 \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 16i \\
& + 4 \cdot C_{\text{dl}} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{\text{ohm}} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot f \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + C_{\text{dl}} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{\text{ohm}} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^3 \cdot f^2 \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 8i \\
& + 4 \cdot C_{\text{dl}} \cdot D^4 \cdot R \cdot R_{\text{ohm}} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta \cdot f \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 6 \cdot C_{\text{dl}} \cdot D^4 \cdot R \cdot R_{\text{ohm}} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta \cdot f \cdot k_{r_s}^3 \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot C_{\text{dl}} \cdot D \cdot R \cdot R_{\text{ohm}} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^4 \cdot f \cdot k_{r_s}^4 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 16 \cdot D^3 \cdot F^2 \cdot R_{\text{ohm}} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot j_s \cdot \delta^3 \cdot f \cdot k_{\text{app}} \cdot k_{r_s} \cdot 2^2 \\
& + C_{\text{dl}} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{\text{ohm}} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^4 \cdot f^2 \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 4i \\
& + (R \cdot T \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T))) \cdot (D \cdot 2 + \delta \cdot k_{r_s})^2 \cdot (2 \cdot G2aI2 \cdot j_s \\
& + 8 \cdot F \cdot G2r(f, -f) \cdot r_s) \cdot (D + \delta \cdot k_{r_s}) \cdot (D^2 \cdot 2 + D \cdot \delta^2 \cdot f \cdot 2i \\
& + \delta^3 \cdot f \cdot k_{r_s} \cdot 2i \\
& + 2 \cdot D \cdot \delta \cdot k_{r_s} \cdot 2) \cdot 1i)/(-D^5 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 1i \\
& + 2 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^6 \cdot f \cdot k_{r_s}^4 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^4 \cdot f \cdot k_{r_s}^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D^4 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot f \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - D^3 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 1i \\
& - D^2 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^3 \cdot k_{r_s}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 3i \\
& - D^5 \cdot F^2 \cdot R_{\text{ohm}} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot j_s \cdot k_{\text{app}} \cdot 2^3 \cdot 4i \\
& - D^3 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 6i \\
& - D^2 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^3 \cdot k_{r_s}^3 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 4i \\
& - D^3 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 2i \\
& + 4 \cdot D \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^5 \cdot f \cdot k_{r_s}^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - D^4 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 2i \\
& - D^4 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta \cdot k_{r_s}^3 \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 3i \\
& - D \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^4 \cdot k_{r_s}^4 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 2i \\
& + 2 \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^4 \cdot f \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot C_{\text{dl}} \cdot D^5 \cdot R \cdot R_{\text{ohm}} \cdot T \cdot j_s \cdot f \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D^3 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^3 \cdot f \cdot k_{r_s} \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^5 \cdot f \cdot k_{r_s}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + C_{\text{dl}} \cdot R \cdot R_{\text{ohm}} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^6 \cdot f^2 \cdot k_{r_s}^4 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 4i \\
& + 8 \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^4 \cdot f \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D^3 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^3 \cdot f \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - D^4 \cdot F^2 \cdot R_{\text{ohm}} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot j_s \cdot \delta \cdot k_{\text{app}} \cdot k_{r_s} \cdot 2^3 \cdot 8i \\
& + C_{\text{dl}} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{\text{ohm}} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^4 \cdot f^2 \cdot k_{r_s}^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 4i
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + C_{dl} \cdot D^4 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot f^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 4i \\
& + 8 \cdot D^4 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot f \cdot k_{app} \cdot 2^2 \\
& + C_{dl} \cdot D \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^5 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 8i \\
& + D^3 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot k_{app} \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \cdot 4i \\
& - D^3 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot k_{app} \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^3 \cdot 8i \\
& + 2 \cdot C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot f \cdot k_{rs}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 6 \cdot C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^3 \cdot f \cdot k_{rs}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^3 \cdot f^2 \cdot k_{rs} \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 8i \\
& + C_{dl} \cdot D \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^5 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 8i \\
& + 8 \cdot D^2 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot j_s \cdot \delta^4 \cdot f \cdot k_{app} \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \\
& + 12 \cdot C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot f \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 8 \cdot C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^3 \cdot f \cdot k_{rs}^3 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^4 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 16i \\
& + 4 \cdot C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot f \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^3 \cdot f^2 \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 8i \\
& + 4 \cdot C_{dl} \cdot D^4 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta \cdot f \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 6 \cdot C_{dl} \cdot D^4 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta \cdot f \cdot k_{rs} \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot C_{dl} \cdot D \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^4 \cdot f \cdot k_{rs}^4 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 16 \cdot D^3 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot j_s \cdot \delta^3 \cdot f \cdot k_{app} \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \\
& + C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^4 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 4i \\
& - (2 \cdot D^2 \cdot F \cdot c_{1s} \cdot 2^2 \cdot (F^2 \cdot G_{1\eta}(f))^2 \cdot \alpha^2 \cdot \eta_s^2 \cdot k_{app} \\
& - 4 \cdot G_{2k_r}(f, -f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot k_{rs} \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot F^2 \cdot G_{1\eta}(f) \cdot G_{1\eta}(-f) \cdot \alpha^2 \cdot \eta_s^2 \cdot k_{app} \\
& - 4 \cdot F \cdot G_{2\eta}(f, -f) \cdot R \cdot T \cdot \alpha \cdot \eta_s \cdot k_{app}) \cdot (D^3 \cdot 2 + D^2 \cdot \delta^2 \cdot f \cdot 2i \\
& - D \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 + \delta^4 \cdot f \cdot k_{rs}^2 \cdot 2i + D \cdot \delta^3 \cdot f \cdot k_{rs} \cdot 4i + 2 \cdot D^2 \cdot \delta \cdot k_{rs} \cdot 2 \\
& + 2 \cdot D \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2)) / (R \cdot T \cdot (D^5 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^6 \cdot f \cdot k_{rs}^4 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 2i \\
& + D^2 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^4 \cdot f \cdot k_{rs}^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 2i \\
& + D^4 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot f \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 2i \\
& + D^3 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 3 \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^3 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D^5 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot j_s \cdot k_{app} \cdot 2^3 \\
& + 6 \cdot D^3 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^3 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D^3 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^5 \cdot f \cdot k_{rs}^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 4i \\
& + 2 \cdot D^4 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T))
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + 3 \cdot D^4 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta \cdot k_{r_s} \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^4 \cdot k_{r_s}^4 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^2 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^4 \cdot f \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 2i \\
& + C_{dl} \cdot D^5 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot f \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 2i \\
& + D^3 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^3 \cdot f \cdot k_{r_s} \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 4i \\
& + D \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^5 \cdot f \cdot k_{r_s}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 4i \\
& - 4 \cdot C_{dl} \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^6 \cdot f^2 \cdot k_{r_s}^4 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^2 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^4 \cdot f \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 8i \\
& + D^3 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^3 \cdot f \cdot k_{r_s} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 4i \\
& + 8 \cdot D^4 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot j_s \cdot \delta \cdot k_{app} \cdot k_{r_s} \cdot 2^3 \\
& - 4 \cdot C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^4 \cdot f^2 \cdot k_{r_s}^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 4 \cdot C_{dl} \cdot D^4 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot f^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^4 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot f \cdot k_{app} \cdot 2^2 \cdot 8i \\
& - 8 \cdot C_{dl} \cdot D \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^5 \cdot f^2 \cdot k_{r_s}^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 4 \cdot D^3 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot k_{app} \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2 \\
& + 8 \cdot D^3 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot k_{app} \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^3 \\
& + C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot f \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 2i \\
& + C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^3 \cdot f \cdot k_{r_s}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 6i \\
& - 8 \cdot C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^3 \cdot f^2 \cdot k_{r_s} \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 8 \cdot C_{dl} \cdot D \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^5 \cdot f^2 \cdot k_{r_s}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^2 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot j_s \cdot \delta^4 \cdot f \cdot k_{app} \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2 \cdot 8i \\
& + C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot f \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 12i \\
& + C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^3 \cdot f \cdot k_{r_s}^3 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 8i \\
& - 16 \cdot C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^4 \cdot f^2 \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot f \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 4i \\
& - 8 \cdot C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^3 \cdot f^2 \cdot k_{r_s} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + C_{dl} \cdot D^4 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta \cdot f \cdot k_{r_s} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 4i \\
& + C_{dl} \cdot D^4 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta \cdot f \cdot k_{r_s} \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 6i \\
& + C_{dl} \cdot D \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^4 \cdot f \cdot k_{r_s}^4 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 4i \\
& + D^3 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot j_s \cdot \delta^3 \cdot f \cdot k_{app} \cdot k_{r_s} \cdot 2^2 \cdot 16i \\
& - 4 \cdot C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^4 \cdot f^2 \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T))) \\
& + (F \cdot R \cdot T \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot (D + \delta \cdot k_{r_s}) \cdot (D^2 \cdot 2 + D \cdot \delta^2 \cdot f \cdot 2i \\
& + \delta^3 \cdot f \cdot k_{r_s} \cdot 2i + 2 \cdot D \cdot \delta \cdot k_{r_s} \cdot 2) \\
& \cdot (-2 \cdot D^3 \cdot G_{2r}(f, -f) \cdot 2^3 \cdot r_s - 2 \cdot G_{2r}(f, -f) \cdot \delta^3 \cdot k_{r_s}^3 \cdot r_s \\
& + 2 \cdot D^3 \cdot G_{2k_r}(f, -f) \cdot c_{1s} \cdot k_{r_s} \cdot 2^3 \\
& + 2 \cdot D^3 \cdot G_{2c_1}(f, -f) \cdot c_{1s} \cdot k_{r_s} \cdot 2^3 \\
& - D^2 \cdot G_{1k_r}(f)^2 \cdot c_{1s} \cdot \delta \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + D^3 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(f) \cdot c_{1s} \cdot k_{r_s} \cdot 2^3 \\
& + D^3 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(-f) \cdot c_{1s} \cdot k_{r_s} \cdot 2^3 \\
& + D^3 \cdot G_{1c_1}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot c_{1s} \cdot k_{r_s} \cdot 2^3 \\
& + 2 \cdot D \cdot G_{2c_1}(f, -f) \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot k_{r_s}^3 \cdot 2 \\
& - 6 \cdot D \cdot G_{2r}(f, -f) \cdot \delta^2 \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2 \cdot r_s \\
& - 6 \cdot D^2 \cdot G_{2r}(f, -f) \cdot \delta \cdot k_{r_s} \cdot 2^2 \cdot r_s \\
& + 2 \cdot D^2 \cdot G_{2k_r}(f, -f) \cdot c_{1s} \cdot \delta \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2 \\
& + 4 \cdot D^2 \cdot G_{2c_1}(f, -f) \cdot c_{1s} \cdot \delta \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2 \\
& + D^2 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(f) \cdot c_{1s} \cdot \delta \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2 \\
& - 2 \cdot D^2 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot c_{1s} \cdot \delta \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2 \\
& + D^2 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(-f) \cdot c_{1s} \cdot \delta \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2 \\
& + D^2 \cdot G_{1c_1}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot c_{1s} \cdot \delta \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2) \cdot 4i \\
& /((D \cdot 2 + \delta \cdot k_{r_s}) \cdot (-D^5 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T))) \cdot 1i \\
& + 2 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^6 \cdot f \cdot k_{r_s}^4 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^4 \cdot f \cdot k_{r_s}^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D^4 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot f \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - D^3 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 1i \\
& - D^2 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^3 \cdot k_{r_s}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 3i \\
& - D^5 \cdot F^2 \cdot R_{\text{ohm}} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot j_s \cdot k_{\text{app}} \cdot 2^3 \cdot 4i \\
& - D^3 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 6i \\
& - D^2 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^3 \cdot k_{r_s}^3 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 4i \\
& - D^3 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 2i \\
& + 4 \cdot D \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^5 \cdot f \cdot k_{r_s}^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - D^4 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta \cdot k_{r_s} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 2i \\
& - D^4 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta \cdot k_{r_s} \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 3i \\
& - D \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^4 \cdot k_{r_s}^4 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 2i \\
& + 2 \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^4 \cdot f \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot C_{\text{dl}} \cdot D^5 \cdot R \cdot R_{\text{ohm}} \cdot T \cdot j_s \cdot f \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D^3 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^3 \cdot f \cdot k_{r_s} \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^5 \cdot f \cdot k_{r_s}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + C_{\text{dl}} \cdot R \cdot R_{\text{ohm}} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^6 \cdot f^2 \cdot k_{r_s}^4 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 4i \\
& + 8 \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^4 \cdot f \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D^3 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^3 \cdot f \cdot k_{r_s} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - D^4 \cdot F^2 \cdot R_{\text{ohm}} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot j_s \cdot \delta \cdot k_{\text{app}} \cdot k_{r_s} \cdot 2^3 \cdot 8i \\
& + C_{\text{dl}} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{\text{ohm}} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^4 \cdot f^2 \cdot k_{r_s}^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 4i \\
& + C_{\text{dl}} \cdot D^4 \cdot R \cdot R_{\text{ohm}} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot f^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 4i \\
& + 8 \cdot D^4 \cdot F^2 \cdot R_{\text{ohm}} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot f \cdot k_{\text{app}} \cdot 2^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + C_{dl} \cdot D \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^5 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 8i \\
& + D^3 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot k_{app} \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \cdot 4i \\
& - D^3 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot k_{app} \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^3 \cdot 8i \\
& + 2 \cdot C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot f \cdot k_{rs}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 6 \cdot C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^3 \cdot f \cdot k_{rs}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^3 \cdot f^2 \cdot k_{rs} \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 8i \\
& + C_{dl} \cdot D \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^5 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 8i \\
& + 8 \cdot D^2 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot j_s \cdot \delta^4 \cdot f \cdot k_{app} \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \\
& + 12 \cdot C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot f \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 8 \cdot C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^3 \cdot f \cdot k_{rs}^3 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^4 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 16i \\
& + 4 \cdot C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot f \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^3 \cdot f^2 \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 8i \\
& + 4 \cdot C_{dl} \cdot D^4 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta \cdot f \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 6 \cdot C_{dl} \cdot D^4 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta \cdot f \cdot k_{rs} \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot C_{dl} \cdot D \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^4 \cdot f \cdot k_{rs}^4 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 16 \cdot D^3 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot j_s \cdot \delta^3 \cdot f \cdot k_{app} \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \\
& + C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^4 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 4i) \\
& - (D^2 \cdot F \cdot R \cdot T \cdot c_{1s} \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& \cdot (D \cdot 2 + \delta \cdot k_{rs}) \cdot (2 \cdot D^3 \cdot G_{2c_1}(f, -f) \\
& + 4 \cdot G_{2c_1}(f, -f) \cdot \delta^3 \cdot k_{rs}^3 + 2 \cdot D^2 \cdot G_{2k_r}(f, -f) \cdot \delta \cdot k_{rs} \\
& + 8 \cdot D^2 \cdot G_{2c_1}(f, -f) \cdot \delta \cdot k_{rs} + 2 \cdot D \cdot G_{2k_r}(f, -f) \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \\
& + 10 \cdot D \cdot G_{2c_1}(f, -f) \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 - D \cdot G_{1k_r}(f)^2 \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \\
& + D^2 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(f) \cdot \delta \cdot k_{rs} \\
& + D^2 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(-f) \cdot \delta \cdot k_{rs} \\
& + D^2 \cdot G_{1c_1}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot \delta \cdot k_{rs} \\
& + D \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(f) \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \\
& - 2 \cdot D \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \\
& + D \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(-f) \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \\
& + D \cdot G_{1c_1}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2) \cdot 4i) \\
& /((D + \delta \cdot k_{rs}) \cdot (-D^5 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 1i \\
& + 2 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^6 \cdot f \cdot k_{rs}^4 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^4 \cdot f \cdot k_{rs}^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D^4 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot f \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - D^3 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 1i \\
& - D^2 \cdot R \cdot T \cdot j_s \cdot \delta^3 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 3i \\
& - D^5 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot j_s \cdot k_{app} \cdot 2^3 \cdot 4i
\end{aligned}$$

In the equation for $G_{2j}(f, f)$ the first order non-dimensional frequency response functions and their conjugates for the overpotential, $G_{1\eta}(f)$, kinetic variable, $G_{1k_r}(f)$, and intermediate oxygen concentration in the diffusion layer, $G_{1c_1}(f)$, as the output are present. Along with them are the second order non-dimensional asymmetrical frequency response functions for overpotential, $G_{2\eta}(f, -f)$, current density, $G_{2j}(f, -f)$, kinetic variable, $G_{2k_r}(f, -f)$, reaction rate, $G_{2r}(f, -f)$, and intermediate oxygen concentration in the diffusion layer, $G_{2c_1}(f, -f)$, as the output.

The first order frequency response function for overpotential as the output:

$$\begin{aligned}
G_{1\eta}(f) = & -(E_s \cdot R \cdot T \cdot \eta_s \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T))) \\
& \cdot (D \cdot 2 + \delta \cdot k_{r_s})^2 \cdot (D + \delta \cdot k_{r_s}) \cdot (2 \cdot D^2 \cdot 1i \\
& - f \cdot D \cdot \delta^2 + k_{r_s} \cdot 2 \cdot D \cdot \delta \cdot 2i \\
& - f \cdot k_{r_s} \cdot \delta^3) \cdot (D^5 \cdot R \cdot T \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T))) \cdot 1i \\
& + R \cdot T \cdot \delta^6 \cdot f \cdot k_{r_s}^4 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 6i \\
& + D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot k_{r_s}^3 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 4i \\
& + D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 2i \\
& + 2 \cdot D \cdot R \cdot T \cdot \delta^5 \cdot f \cdot k_{r_s}^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^4 \cdot R \cdot T \cdot \delta \cdot k_{r_s} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 2i \\
& + D^4 \cdot R \cdot T \cdot \delta \cdot k_{r_s} \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 3i \\
& + D \cdot R \cdot T \cdot \delta^4 \cdot k_{r_s}^4 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 2i \\
& + D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^4 \cdot f \cdot k_{r_s}^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^4 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot f \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 1i \\
& + D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot k_{r_s}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 3i \\
& + D^5 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot k_{app} \cdot 2^3 \cdot 4i \\
& - C_{dl} \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^6 \cdot f^2 \cdot k_{r_s}^4 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 1i \\
& + 4 \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^4 \cdot f \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot f \cdot k_{r_s} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^4 \cdot f \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + C_{dl} \cdot D^5 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot f \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot f \cdot k_{r_s} \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D \cdot R \cdot T \cdot \delta^5 \cdot f \cdot k_{r_s}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D^4 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot f \cdot k_{app} \cdot 2^2 \\
& - C_{dl} \cdot D \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^5 \cdot f^2 \cdot k_{r_s}^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 2i \\
& - D^3 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot k_{app} \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2 \cdot 4i
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& - 2 \cdot C_{dl} \cdot D \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^5 \cdot \eta_s \cdot f^2 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 4 \cdot C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^4 \cdot \eta_s \cdot f^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 2 \cdot C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^3 \cdot \eta_s \cdot f^2 \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^4 \cdot \eta_s \cdot f^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T))^2 \\
& + \eta_s^2 \cdot f^2 \cdot (D + \delta \cdot k_{rs})^2 \cdot (R \cdot T \cdot \delta^5 \cdot k_{rs}^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T))) \\
& + D \cdot R \cdot T \cdot \delta^4 \cdot k_{rs}^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + C_{dl} \cdot D^4 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot k_{rs} \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D \cdot R \cdot T \cdot \delta^4 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D^3 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot k_{app} \cdot 2^2 \\
& + 2 \cdot C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot C_{dl} \cdot D \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^3 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta \cdot k_{rs} \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D^2 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^3 \cdot k_{app} \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \\
& + C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T))^2
\end{aligned}$$

The conjugate of the first order non-dimensional frequency response function for overpotential as the output is:

$$G_{1\eta}(-f) = conjugate(G_{1\eta}(f))$$

The first order frequency response function for the kinetic variable as the output:

$$\begin{aligned}
G_{1k_r}(f) &= (E_s \cdot F \cdot \alpha \cdot k_{app} \cdot k_{rs} \cdot (D \cdot 2 + \delta \cdot k_{rs})^2 \cdot (D + \delta \cdot k_{rs}) \\
&\quad \cdot (2 \cdot D^2 + f \cdot D \cdot \delta^2 \cdot 1i \\
&\quad + 2 \cdot k_{rs} \cdot 2 \cdot D \cdot \delta + f \cdot k_{rs} \cdot \delta^3 \cdot 1i) \\
&\quad \cdot (C_{dl} \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^6 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^4 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
&\quad + R \cdot T \cdot \delta^6 \cdot f \cdot k_{rs}^4 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 1i \\
&\quad - 6 \cdot D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
&\quad - 4 \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
&\quad - 2 \cdot D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
&\quad + D \cdot R \cdot T \cdot \delta^5 \cdot f \cdot k_{rs}^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \cdot 2i \\
&\quad - 2 \cdot D^4 \cdot R \cdot T \cdot \delta \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
&\quad - 3 \cdot D^4 \cdot R \cdot T \cdot \delta \cdot k_{rs} \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T))
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + 4 \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot k_{rs}^4 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D \cdot R \cdot T \cdot \delta^4 \cdot k_{rs}^5 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D^4 \cdot R \cdot T \cdot \delta \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 3 \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot k_{rs}^4 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 3 \cdot D^4 \cdot R \cdot T \cdot \delta \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - C_{dl} \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^6 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^5 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D^5 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot k_{app} \cdot k_{rs} \cdot 2^3 \\
& + 8 \cdot D^4 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta \cdot k_{app} \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^3 \\
& - 2 \cdot C_{dl} \cdot D \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^5 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^4 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 4 \cdot D^3 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot k_{app} \cdot k_{rs}^3 \cdot 2^2 \\
& + 8 \cdot D^3 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot k_{app} \cdot k_{rs}^3 \cdot 2^3 \\
& - C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^4 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 2 \cdot C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^3 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - C_{dl} \cdot D^4 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^2 \cdot f^2 \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 4 \cdot C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^4 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 2 \cdot C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^3 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^4 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 2 \cdot C_{dl} \cdot D \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^5 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^4 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)))^2 \\
& + f^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot (D + \delta \cdot k_{rs})^2 \cdot (R \cdot T \cdot \delta^5 \cdot k_{rs}^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T))) \\
& + D \cdot R \cdot T \cdot \delta^4 \cdot k_{rs}^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + C_{dl} \cdot D^4 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot k_{rs} \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D \cdot R \cdot T \cdot \delta^4 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D^3 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot k_{app} \cdot 2^2 \\
& + 2 \cdot C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot C_{dl} \cdot D \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^3 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta \cdot k_{rs} \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D^2 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^3 \cdot k_{app} \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \\
& + C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)))^2)
\end{aligned}$$

The conjugate of the first order non-dimensional frequency response function for kinetic variable as the output is:

$$G_{1k_r}(-f) = conjugate(G_{1k_r}(f))$$

The first order frequency response function for the intermediate concentration in the diffusion layer as the output:

$$\begin{aligned}
G_{1c_1}(f) = & (D^2 \cdot E_s \cdot F \cdot \alpha \cdot \delta \cdot k_{app} \cdot 2 \cdot (D \cdot 2 + \delta \cdot k_{rs})^2 \\
& \cdot (D^5 \cdot R \cdot T \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T))) \\
& + 6 \cdot D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D^4 \cdot R \cdot T \cdot \delta \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 3 \cdot D^4 \cdot R \cdot T \cdot \delta \cdot k_{rs} \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D \cdot R \cdot T \cdot \delta^4 \cdot k_{rs}^4 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 3 \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D^5 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot k_{app} \cdot 2^3 \\
& - C_{dl} \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^6 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^4 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 2 \cdot C_{dl} \cdot D \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^5 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 4 \cdot D^3 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot k_{app} \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \\
& + 8 \cdot D^3 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot k_{app} \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^3 \\
& + 8 \cdot D^4 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta \cdot k_{app} \cdot k_{rs} \cdot 2^3 \\
& - C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^4 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - C_{dl} \cdot D^4 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^2 \cdot f^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 4 \cdot C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^4 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 2 \cdot C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^3 \cdot f^2 \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^4 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 2 \cdot C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^3 \cdot f^2 \cdot k_{rs} \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 2 \cdot C_{dl} \cdot D \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^5 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - D^2 \cdot E_s \cdot F \cdot \alpha \cdot \delta \cdot f \cdot k_{app} \cdot 2 \cdot (D \cdot 2 + \delta \cdot k_{rs})^2 \cdot (D + \delta \cdot k_{rs}) \\
& \cdot (R \cdot T \cdot \delta^5 \cdot k_{rs}^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T))) \\
& + D \cdot R \cdot T \cdot \delta^4 \cdot k_{rs}^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + C_{dl} \cdot D^4 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot k_{rs} \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D \cdot R \cdot T \cdot \delta^4 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D^3 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot k_{app} \cdot 2^2 \\
& + 2 \cdot C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T))
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + 2 \cdot C_{dl} \cdot D \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^3 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta \cdot k_{rs} \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D^2 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^3 \cdot k_{app} \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \\
& + C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T))) \cdot 1i) \\
& /((D^5 \cdot R \cdot T \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 6 \cdot D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D^4 \cdot R \cdot T \cdot \delta \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 3 \cdot D^4 \cdot R \cdot T \cdot \delta \cdot k_{rs} \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D \cdot R \cdot T \cdot \delta^4 \cdot k_{rs}^4 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 3 \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D^5 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot k_{app} \cdot 2^3 \\
& - C_{dl} \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^6 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^4 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 2 \cdot C_{dl} \cdot D \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^5 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 4 \cdot D^3 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot k_{app} \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \\
& + 8 \cdot D^3 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot k_{app} \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^3 \\
& + 8 \cdot D^4 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta \cdot k_{app} \cdot k_{rs} \cdot 2^3 \\
& - C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^4 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - C_{dl} \cdot D^4 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^2 \cdot f^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 4 \cdot C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^4 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 2 \cdot C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^3 \cdot f^2 \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^4 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 2 \cdot C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^3 \cdot f^2 \cdot k_{rs} \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 2 \cdot C_{dl} \cdot D \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^5 \cdot f^2 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)))^2 \\
& + f^2 \cdot (D + \delta \cdot k_{rs})^2 \cdot (R \cdot T \cdot \delta^5 \cdot k_{rs}^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D \cdot R \cdot T \cdot \delta^4 \cdot k_{rs}^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + C_{dl} \cdot D^4 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot k_{rs} \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D \cdot R \cdot T \cdot \delta^4 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D^3 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot k_{app} \cdot 2^2 \\
& + 2 \cdot C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot C_{dl} \cdot D \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^3 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T))
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + 2 \cdot C_{dl} \cdot D^3 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta \cdot k_{rs} \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D^2 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^3 \cdot k_{app} \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \\
& + C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot C_{dl} \cdot D^2 \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T))^2
\end{aligned}$$

The conjugate of the first order non-dimensional frequency response function for intermediate concentration in diffusion layer as the output is:

$$G_{1c_1}(-f) = \text{conjugate}(G_{1c_1}(f))$$

The second order non-dimensional asymmetrical frequency response function for the overpotential as the output:

$$\begin{aligned}
G_{2\eta}(f, -f) = & (2 \cdot D^2 \cdot F \cdot R_{ohm} \cdot c_{1s} \cdot 2 \cdot (2 \cdot G_{1k_r}(f) \\
& \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^4 \cdot k_{rs}^5 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^4 \cdot k_{rs}^5 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - G_{1c_1}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^4 \cdot k_{rs}^5 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - F^2 \cdot G_{1\eta}(f) \cdot G_{1\eta}(-f) \cdot \alpha^2 \cdot \delta^4 \cdot \eta_s^2 \cdot k_{app} \cdot k_{rs}^4 \\
& - D \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^3 \cdot k_{rs}^4 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - D \cdot G_{1c_1}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^3 \cdot k_{rs}^4 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^4 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^4 \cdot G_{1c_1}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 4 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^4 \cdot k_{rs}^5 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^4 \cdot k_{rs}^5 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot G_{1c_1}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^4 \cdot k_{rs}^5 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^4 \cdot F^2 \cdot G_{1\eta}(f) \cdot G_{1\eta}(-f) \cdot \alpha^2 \cdot \eta_s^2 \cdot k_{app} \cdot 2^2 \\
& - 8 \cdot D^2 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D^2 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D^2 \cdot G_{1c_1}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 3 \cdot D^3 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 3 \cdot D^3 \cdot G_{1c_1}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^3 \cdot k_{rs}^4 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D \cdot G_{1c_1}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^3 \cdot k_{rs}^4 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - D \cdot F^2 \cdot G_{1\eta}(f) \cdot G_{1\eta}(-f) \cdot \alpha^2 \cdot \delta^3 \cdot \eta_s^2 \cdot k_{app} \cdot k_{rs}^3 \\
& + 2 \cdot F^2 \cdot G_{1\eta}(f) \cdot G_{1\eta}(-f) \cdot \alpha^2 \cdot \delta^4 \cdot \eta_s^2 \cdot k_{app} \cdot k_{rs}^4 \cdot 2 \\
& + 2 \cdot D^2 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D^2 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T))
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + 4 \cdot D^2 \cdot G_{1c_1}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^2 \cdot k_{r_s}^3 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 2 \cdot D^3 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 6 \cdot D \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^3 \cdot k_{r_s}^4 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^3 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^3 \cdot G_{1c_1}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 3 \cdot D \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^3 \cdot k_{r_s}^4 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 3 \cdot D \cdot G_{1c_1}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^3 \cdot k_{r_s}^4 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D^2 \cdot F^2 \cdot G_{1\eta}(f) \cdot G_{1\eta}(-f) \cdot \alpha^2 \cdot \delta^2 \cdot \eta_s^2 \cdot k_{app} \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2 \\
& + 2 \cdot D \cdot F^2 \cdot G_{1\eta}(f) \cdot G_{1\eta}(-f) \cdot \alpha^2 \cdot \delta^3 \cdot \eta_s^2 \cdot k_{app} \cdot k_{r_s}^3 \cdot 2^2 \\
& + D^3 \cdot F^2 \cdot G_{1\eta}(f) \cdot G_{1\eta}(-f) \cdot \alpha^2 \cdot \delta \cdot \eta_s^2 \cdot k_{app} \cdot k_{r_s} \cdot 2 \\
& + 4 \cdot D^2 \cdot F^2 \cdot G_{1\eta}(f) \cdot G_{1\eta}(-f) \cdot \alpha^2 \cdot \delta^2 \cdot \eta_s^2 \cdot k_{app} \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2 \\
& + 3 \cdot D^3 \cdot F^2 \cdot G_{1\eta}(f) \cdot G_{1\eta}(-f) \cdot \alpha^2 \cdot \delta \cdot \eta_s^2 \cdot k_{app} \cdot k_{r_s} \cdot 2^2 \\
& + 3 \cdot D \cdot F^2 \cdot G_{1\eta}(f) \cdot G_{1\eta}(-f) \cdot \alpha^2 \cdot \delta^3 \cdot \eta_s^2 \cdot k_{app} \cdot k_{r_s}^3 \cdot 2)) \\
& / (R \cdot T \cdot \eta_s \cdot (D \cdot 2 + \delta \cdot k_{r_s} \cdot (D + \delta \cdot k_{r_s})) \cdot (D^4 \cdot R \cdot T \cdot 2^2 \\
& \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^4 \cdot k_{r_s}^4 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 3 \cdot D \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot k_{r_s}^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{r_s}^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta \cdot k_{r_s} \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 3 \cdot D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta \cdot k_{r_s} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot k_{r_s}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 6 \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D^4 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot k_{app} \cdot 2^2 \\
& - 4 \cdot D^2 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot k_{app} \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2 \\
& + 8 \cdot D^2 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot k_{app} \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2 \\
& + 8 \cdot D^3 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta \cdot k_{app} \cdot k_{r_s} \cdot 2^2))
\end{aligned}$$

The second order non-dimensional asymmetrical frequency response function for the current density as the output:

$$\begin{aligned}
G_{2j}(f, -f) = & -(2 \cdot D^2 \cdot F \cdot c_{1s} \cdot 2 \cdot (2 \cdot G_{1k_r}(f) \\
& \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^4 \cdot k_{r_s}^5 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^4 \cdot k_{r_s}^5 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - G_{1c_1}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^4 \cdot k_{r_s}^5 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - F^2 \cdot G_{1\eta}(f) \cdot G_{1\eta}(-f) \cdot \alpha^2 \cdot \delta^4 \cdot \eta_s^2 \cdot k_{app} \cdot k_{r_s}^4 \\
& - D \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^3 \cdot k_{r_s}^4 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T))
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + 3 \cdot D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 6 \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D^4 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot k_{app} \cdot 2^2 \\
& - 4 \cdot D^2 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot k_{app} \cdot k_{rs}^2 \cdot 2 \\
& + 8 \cdot D^2 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot k_{app} \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \\
& + 8 \cdot D^3 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta \cdot k_{app} \cdot k_{rs} \cdot 2^2))
\end{aligned}$$

The second order non-dimensional asymmetrical frequency response function for the kinetic variable as the output:

$$\begin{aligned}
G_{2k_r}(f, -f) = & (F^2 \cdot \alpha \cdot k_{app} \cdot (D^6 \cdot G_{1\eta}(f) \cdot G_{1\eta}(-f) \cdot \alpha \cdot \eta_s^2 \cdot 2^3 \\
& + 2 \cdot G_{1\eta}(f) \cdot G_{1\eta}(-f) \cdot \alpha \cdot \delta^6 \cdot \eta_s^2 \cdot k_{rs}^6 \\
& + D^3 \cdot G_{1\eta}(f) \cdot G_{1\eta}(-f) \cdot \alpha \cdot \delta^3 \cdot \eta_s^2 \cdot k_{rs}^3 \\
& + 4 \cdot D^2 \cdot G_{1\eta}(f) \cdot G_{1\eta}(-f) \cdot \alpha \cdot \delta^4 \cdot \eta_s^2 \cdot k_{rs}^4 \\
& + 5 \cdot D \cdot G_{1\eta}(f) \cdot G_{1\eta}(-f) \cdot \alpha \cdot \delta^5 \cdot \eta_s^2 \cdot k_{rs}^5 \\
& + 12 \cdot D^4 \cdot G_{1\eta}(f) \cdot G_{1\eta}(-f) \cdot \alpha \cdot \delta^2 \cdot \eta_s^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \\
& + 15 \cdot D^3 \cdot G_{1\eta}(f) \cdot G_{1\eta}(-f) \cdot \alpha \cdot \delta^3 \cdot \eta_s^2 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2^2 \\
& + 5 \cdot D^4 \cdot G_{1\eta}(f) \cdot G_{1\eta}(-f) \cdot \alpha \cdot \delta^2 \cdot \eta_s^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^3 \\
& + 6 \cdot D^2 \cdot G_{1\eta}(f) \cdot G_{1\eta}(-f) \cdot \alpha \cdot \delta^4 \cdot \eta_s^2 \cdot k_{rs}^4 \cdot 2^2 \\
& + 2 \cdot D^3 \cdot G_{1\eta}(f) \cdot G_{1\eta}(-f) \cdot \alpha \cdot \delta^3 \cdot \eta_s^2 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2^3 \\
& + 3 \cdot D^5 \cdot G_{1\eta}(f) \cdot G_{1\eta}(-f) \cdot \alpha \cdot \delta \cdot \eta_s^2 \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \\
& + 4 \cdot D^5 \cdot G_{1\eta}(f) \cdot G_{1\eta}(-f) \cdot \alpha \cdot \delta \cdot \eta_s^2 \cdot k_{rs} \cdot 2^3 \\
& + 6 \cdot D \cdot G_{1\eta}(f) \cdot G_{1\eta}(-f) \cdot \alpha \cdot \delta^5 \cdot \eta_s^2 \cdot k_{rs}^5 \cdot 2 \\
& + 3 \cdot D^4 \cdot G_{1\eta}(f) \cdot G_{1\eta}(-f) \cdot \alpha \cdot \delta^2 \cdot \eta_s^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2 \\
& + 12 \cdot D^3 \cdot G_{1\eta}(f) \cdot G_{1\eta}(-f) \cdot \alpha \cdot \delta^3 \cdot \eta_s^2 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2 \\
& + 15 \cdot D^2 \cdot G_{1\eta}(f) \cdot G_{1\eta}(-f) \cdot \alpha \cdot \delta^4 \cdot \eta_s^2 \cdot k_{rs}^4 \cdot 2 \\
& - 4 \cdot D^6 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(-f) \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot c_{1s} \cdot k_{rs} \cdot 2^3 \\
& - 4 \cdot D^6 \cdot G_{1c_1}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot c_{1s} \cdot k_{rs} \cdot 2^3 \\
& + 32 \cdot D^4 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2^2 \\
& + 24 \cdot D^3 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot c_{1s} \cdot \delta^3 \cdot k_{rs}^4 \cdot 2^2 \\
& - 8 \cdot D^4 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2^3 \\
& + 16 \cdot D^2 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot c_{1s} \cdot \delta^4 \cdot k_{rs}^5 \cdot 2^2 \\
& - 8 \cdot D^4 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(-f) \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2^2 \\
& - 8 \cdot D^4 \cdot G_{1c_1}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2^2 \\
& - 12 \cdot D^3 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(-f) \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot c_{1s} \cdot \delta^3 \cdot k_{rs}^4 \cdot 2^2 \\
& - 12 \cdot D^3 \cdot G_{1c_1}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot c_{1s} \cdot \delta^3 \cdot k_{rs}^4 \cdot 2^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& - 16 \cdot D^4 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(-f) \cdot R \cdot R_{\text{ohm}} \cdot T \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot k_{r_s}^3 \cdot 2^3 \\
& - 16 \cdot D^4 \cdot G_{1c_1}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R \cdot R_{\text{ohm}} \cdot T \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot k_{r_s}^3 \cdot 2^3 \\
& - 8 \cdot D^2 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(-f) \cdot R \cdot R_{\text{ohm}} \cdot T \cdot c_{1s} \cdot \delta^4 \cdot k_{r_s}^5 \cdot 2^2 \\
& - 8 \cdot D^2 \cdot G_{1c_1}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R \cdot R_{\text{ohm}} \cdot T \cdot c_{1s} \cdot \delta^4 \cdot k_{r_s}^5 \cdot 2^2 \\
& - 8 \cdot D^3 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(-f) \cdot R \cdot R_{\text{ohm}} \cdot T \cdot c_{1s} \cdot \delta^3 \cdot k_{r_s}^4 \cdot 2^3 \\
& - 8 \cdot D^3 \cdot G_{1c_1}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R \cdot R_{\text{ohm}} \cdot T \cdot c_{1s} \cdot \delta^3 \cdot k_{r_s}^4 \cdot 2^3 \\
& + 8 \cdot D^5 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R \cdot R_{\text{ohm}} \cdot T \cdot c_{1s} \cdot \delta \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2 \\
& - 8 \cdot D^2 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R \cdot R_{\text{ohm}} \cdot T \cdot c_{1s} \cdot \delta^4 \cdot k_{r_s}^5 \cdot 2 \\
& - 4 \cdot D^5 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(-f) \cdot R \cdot R_{\text{ohm}} \cdot T \cdot c_{1s} \cdot \delta \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2 \\
& - 4 \cdot D^5 \cdot G_{1c_1}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R \cdot R_{\text{ohm}} \cdot T \cdot c_{1s} \cdot \delta \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2 \\
& + 4 \cdot D^3 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(-f) \cdot R \cdot R_{\text{ohm}} \cdot T \cdot c_{1s} \cdot \delta^3 \cdot k_{r_s}^4 \cdot 2 \\
& + 4 \cdot D^3 \cdot G_{1c_1}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R \cdot R_{\text{ohm}} \cdot T \cdot c_{1s} \cdot \delta^3 \cdot k_{r_s}^4 \cdot 2 \\
& - 12 \cdot D^5 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(-f) \cdot R \cdot R_{\text{ohm}} \cdot T \cdot c_{1s} \cdot \delta \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^3 \\
& - 12 \cdot D^5 \cdot G_{1c_1}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R \cdot R_{\text{ohm}} \cdot T \cdot c_{1s} \cdot \delta \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^3 \\
& + 4 \cdot D^2 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(-f) \cdot R \cdot R_{\text{ohm}} \cdot T \cdot c_{1s} \cdot \delta^4 \cdot k_{r_s}^5 \cdot 2 \\
& + 4 \cdot D^2 \cdot G_{1c_1}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R \cdot R_{\text{ohm}} \cdot T \cdot c_{1s} \cdot \delta^4 \cdot k_{r_s}^5 \cdot 2) \\
& / (2 \cdot R \cdot T \cdot k_{r_s} \cdot (D \cdot 2 + \delta \cdot k_{r_s}) \cdot (D + \delta \cdot k_{r_s}) \\
& \cdot (D^4 \cdot R \cdot T \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^4 \cdot k_{r_s}^4 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 3 \cdot D \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot k_{r_s}^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{r_s}^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta \cdot k_{r_s} \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 3 \cdot D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta \cdot k_{r_s} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot k_{r_s}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 6 \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D^4 \cdot F^2 \cdot R_{\text{ohm}} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot k_{\text{app}} \cdot 2^2 \\
& - 4 \cdot D^2 \cdot F^2 \cdot R_{\text{ohm}} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot k_{\text{app}} \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2 \\
& + 8 \cdot D^2 \cdot F^2 \cdot R_{\text{ohm}} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot k_{\text{app}} \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2 \\
& + 8 \cdot D^3 \cdot F^2 \cdot R_{\text{ohm}} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta \cdot k_{\text{app}} \cdot k_{r_s} \cdot 2^2))
\end{aligned}$$

The second order non-dimensional asymmetrical frequency response function for the rate of reaction as the output:

$$\begin{aligned}
G_{2r}(f, -f) &= (D^6 \cdot F^2 \cdot G_{1\eta}(f) \cdot G_{1\eta}(-f) \cdot \alpha^2 \cdot c_{1s} \cdot \eta_s^2 \cdot k_{\text{app}} \cdot 2^3 \\
&+ D^6 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot c_{1s} \cdot k_{r_s} \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
&+ D^6 \cdot G_{1c_1}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot c_{1s} \cdot k_{r_s} \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T))
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + 2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^4 \cdot k_{rs}^4 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 3 \cdot D \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot k_{rs}^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta \cdot k_{rs} \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 3 \cdot D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta \cdot k_{rs} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 6 \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D^4 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot k_{app} \cdot 2^2 \\
& - 4 \cdot D^2 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot k_{app} \cdot k_{rs}^2 \cdot 2 \\
& + 8 \cdot D^2 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot k_{app} \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \\
& + 8 \cdot D^3 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta \cdot k_{app} \cdot k_{rs} \cdot 2^2)
\end{aligned}$$

The second order non-dimensional asymmetrical frequency response function for the intermediate concentration in the diffusion layer as the output:

$$\begin{aligned}
G_{2c_1}(f, -f) = & -(D \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^5 \cdot k_{rs}^5 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 2 \cdot D \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^5 \cdot k_{rs}^5 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D \cdot G_{1c_1}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^5 \cdot k_{rs}^5 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^2 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^4 \cdot k_{rs}^4 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^2 \cdot G_{1c_1}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^4 \cdot k_{rs}^4 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 6 \cdot D^2 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^4 \cdot k_{rs}^4 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 3 \cdot D^3 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^3 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 3 \cdot D^3 \cdot G_{1c_1}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^3 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 3 \cdot D^2 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^4 \cdot k_{rs}^4 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 3 \cdot D^2 \cdot G_{1c_1}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^4 \cdot k_{rs}^4 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D \cdot F^2 \cdot G_{1\eta}(f) \cdot G_{1\eta}(-f) \cdot \alpha^2 \cdot \delta^5 \cdot \eta_s^2 \cdot k_{app} \cdot k_{rs}^4 \\
& + D^5 \cdot F^2 \cdot G_{1\eta}(f) \cdot G_{1\eta}(-f) \cdot \alpha^2 \cdot \delta \cdot \eta_s^2 \cdot k_{app} \cdot 2^3 \\
& - 6 \cdot D^3 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^3 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& - 2 \cdot D^4 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 3 \cdot D^4 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 3 \cdot D^4 \cdot G_{1c_1}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 3 \cdot D^3 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^3 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 3 \cdot D^3 \cdot G_{1c_1}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^3 \cdot k_{rs}^3 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^4 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^4 \cdot G_{1c_1}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta^2 \cdot k_{rs}^2 \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T))
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + D^2 \cdot F^2 \cdot G_{1\eta}(f) \cdot G_{1\eta}(-f) \cdot \alpha^2 \cdot \delta^4 \cdot \eta_s^2 \cdot k_{\text{app}} \cdot k_{r_s}^3 \\
& + D^5 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1c_1}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta \cdot k_{r_s} \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^5 \cdot G_{1c_1}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R^2 \cdot T^2 \cdot \delta \cdot k_{r_s} \cdot 2^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 3 \cdot D^3 \cdot F^2 \cdot G_{1\eta}(f) \cdot G_{1\eta}(-f) \cdot \alpha^2 \cdot \delta^3 \cdot \eta_s^2 \cdot k_{\text{app}} \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2 \\
& + 3 \cdot D^4 \cdot F^2 \cdot G_{1\eta}(f) \cdot G_{1\eta}(-f) \cdot \alpha^2 \cdot \delta^2 \cdot \eta_s^2 \cdot k_{\text{app}} \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2 \\
& + 3 \cdot D^2 \cdot F^2 \cdot G_{1\eta}(f) \cdot G_{1\eta}(-f) \cdot \alpha^2 \cdot \delta^4 \cdot \eta_s^2 \cdot k_{\text{app}} \cdot k_{r_s}^3 \cdot 2 \\
& + D^4 \cdot F^2 \cdot G_{1\eta}(f) \cdot G_{1\eta}(-f) \cdot \alpha^2 \cdot \delta^2 \cdot \eta_s^2 \cdot k_{\text{app}} \cdot k_{r_s} \cdot 2^3 \\
& + 3 \cdot D^3 \cdot F^2 \cdot G_{1\eta}(f) \cdot G_{1\eta}(-f) \cdot \alpha^2 \cdot \delta^3 \cdot \eta_s^2 \cdot k_{\text{app}} \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2 \\
& + 8 \cdot D^4 \cdot F^2 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot k_{\text{app}} \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2 \\
& - 8 \cdot D^4 \cdot F^2 \cdot G_{1k_r}(f) \cdot G_{1k_r}(-f) \cdot R \cdot R_{ohm} \cdot T \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot k_{\text{app}} \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^3) \\
& / (2 \cdot R \cdot T \cdot (D \cdot 2 + \delta \cdot k_{r_s}) \cdot (D + \delta \cdot k_{r_s}) \\
& \cdot (D^4 \cdot R \cdot T \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^4 \cdot k_{r_s}^4 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 3 \cdot D \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot k_{r_s}^3 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{r_s}^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta \cdot k_{r_s} \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 2 \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 3 \cdot D^3 \cdot R \cdot T \cdot \delta \cdot k_{r_s} \cdot 2^2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D \cdot R \cdot T \cdot \delta^3 \cdot k_{r_s}^3 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 6 \cdot D^2 \cdot R \cdot T \cdot \delta^2 \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2 \cdot \exp((F \cdot \alpha \cdot \eta_s)/(R \cdot T)) \\
& + 4 \cdot D^4 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot k_{\text{app}} \cdot 2^2 \\
& - 4 \cdot D^2 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot k_{\text{app}} \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2 \\
& + 8 \cdot D^2 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta^2 \cdot k_{\text{app}} \cdot k_{r_s}^2 \cdot 2^2 \\
& + 8 \cdot D^3 \cdot F^2 \cdot R_{ohm} \cdot \alpha \cdot c_{1s} \cdot \delta \cdot k_{\text{app}} \cdot k_{r_s} \cdot 2^2))
\end{aligned}$$

References

- [1] L. A. Živković, M. Petkovska, Computer-Enhanced Nonlinear Frequency Response Method, unpublished work.