

АНАЛІЗ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ПОСТАНОВЦІ ЛЕП ЗМІННОГО СТРУМУ ПІД НАПРУГУ В ГІБРИДНИХ ЕНЕРГОСИСТЕМАХ

Шполянський О.Г.

Інститут електродинаміки НАН України

Гібридні енергосистеми поєднують у собі елементи енергосистем на змінному і постійному струмі:

- генерація електроенергії;
- перетворення електроенергії;
- пересилання електроенергії.

Причин виникнення перехідних процесів в енергосистемах:

- підключення або відключення елементів енергосистеми;
- поява коротких замикань;
- різка зміна величини навантаження і генерації.

Постановка ЛЕП під напругу може відбуватися:

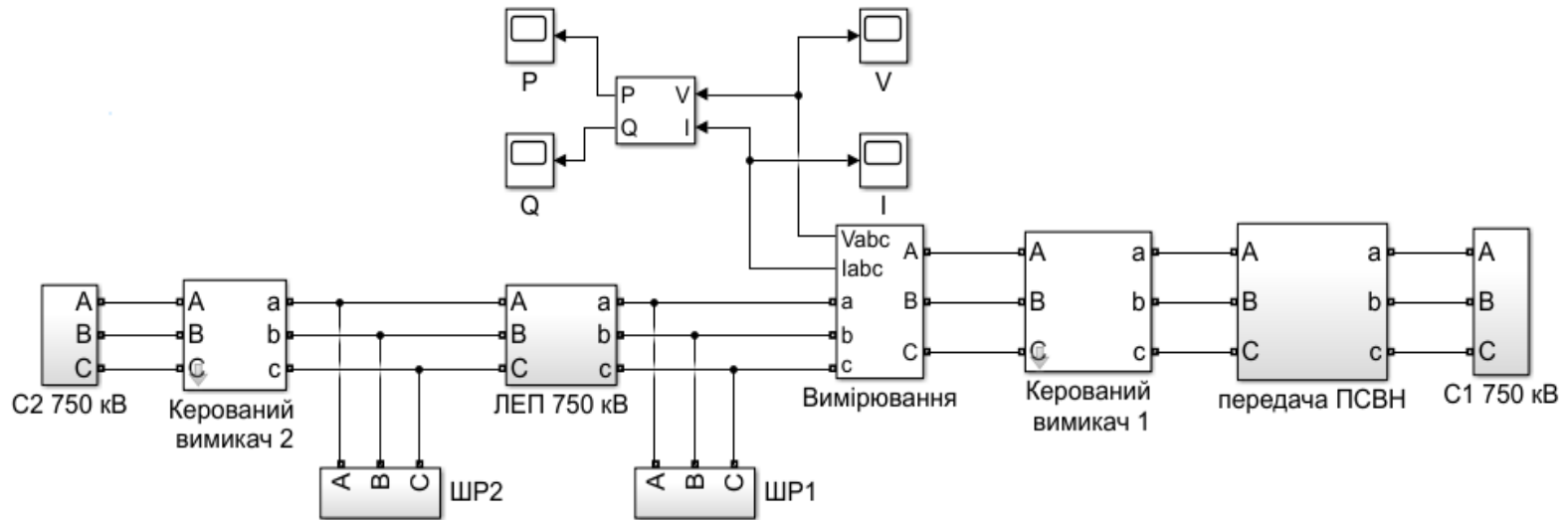
- у нормальних режимах підчас зміни конфігурації електричної мережі задля перерозподілу протікання потоків активної і реактивної енергії;
- у післяаварійних режимах ця операція є етапом відновлення електропостачання.

Основні небезпеки:

- Перенапруги – негативний вплив на ізоляцію, що може призвести до КЗ;
- Аперіодичні струми – ускладнення відключення ЕВ. Безпечне відключення при $I_{dc} < 55\%$.

Наявність в ГЕ передач постійного струму високої напруги (ПСВН) розширила перелік чинників, що мають вплив на характер та параметри перехідних процесів. Одним з них є налаштування контролерів керування перетворювачами ПСВН.

Мета роботи. Визначити та порівняти вплив налаштувань контролеру керування перетворювачем передачі ПСВН зі сторони ЛЕП 750 кВ на параметри перехідного процесу при постановці її під напругу.



Імітаційна модель для досліджень перехідних процесів в ГЕ

- С1 і С2 – еквівалентні вузли електричної мережі змінного струму 750 кВ;
- ЛЕП 750 кВ;
- ШР1 і ШР2 шунтувальні реактори 750 кВ;
- Керовані вимикачі 750 кВ;
- Передача ПСВН напругою ± 400 кВ;
- Управління перетворювачами за принципом Voltage Source Converter (VSC), тобто перетворювач – джерело напруги (ПДН).
- Засоби вимірювання параметрів перехідного процесу.

Дослідження перехідних процесів

Засоби впливу на величину перенапруги і аперіодичного струму:

- Ступень компенсації зарядної потужності ЛЕП 750 кВ;
- Момент комутації вимикача при постановці ЛЕП 750 кВ під напругу;
- Межі регулювання реактивної потужності перетворювальної підстанції ΔQ ;
- Коефіцієнт підсилення пропорційної ланки регулятора струму перетворювача K_p^I .

Параметри за замовчуванням:

$$\Delta Q = \pm 0,5 \text{ в.о.}; K_p^I = 0,4$$

Перехідний процес моделювався на протязі 3 секунд. Комутації лінійних вимикачів відбувались окремо в кожній фазі після моменту часу 1,3 с від початку моделювання для того, щоб уникнути впливу на результати від перехідних процесів в передачі ПСВН після її включення в роботу. .

Результати моделювання

Таблиця 1. Комутація при проходженні фазної напруги через нуль у момент t_0 .

№ досліджу	Місце ШПР	U _{max} початку, кВ			U _{max} кінця, кВ			I _{dc} , %		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
$\Delta Q = \pm 0,5$ в.о.; $K_p^I = 0,4$										
1	П	736,3	714,8	779,2	811,2	780,5	831,0	240,6	215,9	196,5
2	К	732,1	708,3	779,0	762,9	745,6	787,6	163,7	141,9	110,2
3	ПК	689,4	668,6	702,1	719,9	692,4	721,8	267,7	232,7	218,7
$\Delta Q = \pm 0,4$ в.о.; $K_p^I = 0,4$										
4	П	869,7	825,9	936,9	1017,0	973,3	1031,0	204,8	183,6	159,6
5	К	870,5	809,7	917,7	965,6	911,5	993,4	112,7	102,2	82,2
6	ПК	829,8	807,9	828,1	914,6	908,1	914,0	203,3	183,2	166,1
$\Delta Q = \pm 0,3$ в.о.; $K_p^I = 0,4$										
7	П	1031,0	994,5	1002,0	1126,0	1240,0	1271,0	98,6	81,9	75,1
8	К	1063,0	976,4	1017,0	1140,0	1162,0	1195,0	50,5	39,5	28,7
9	ПК	1039,0	940,9	970,6	1143,0	1044,0	1083,0	85,3	70,5	73,9
$\Delta Q = \pm 0,5$ в.о.; $K_p^I = 0,3$										
10	П	1027,0	995,1	1009,0	1136,0	1219,0	1275,0	114,4	91,6	75,4
11	К	1049,0	980,1	1020,0	1097,0	1125,0	1196,0	52,8	48,6	29,7
12	ПК	1023,0	947,0	961,0	1100,0	1067,0	1077,0	96,5	84,8	81,3

Результати моделювання

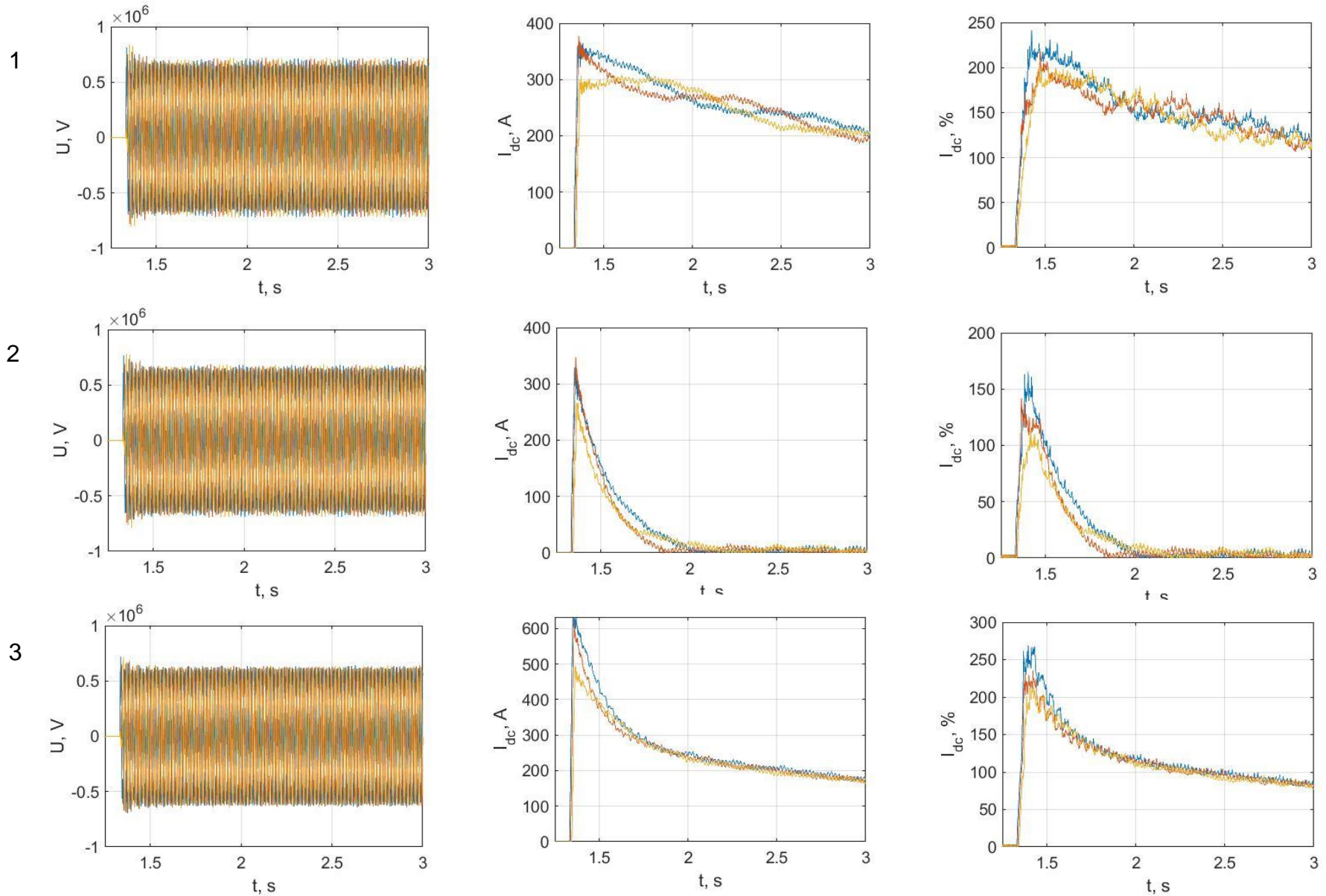
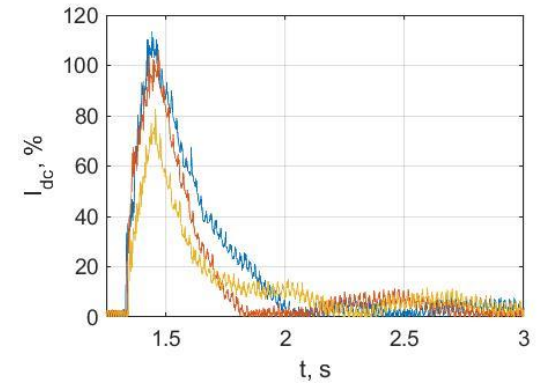
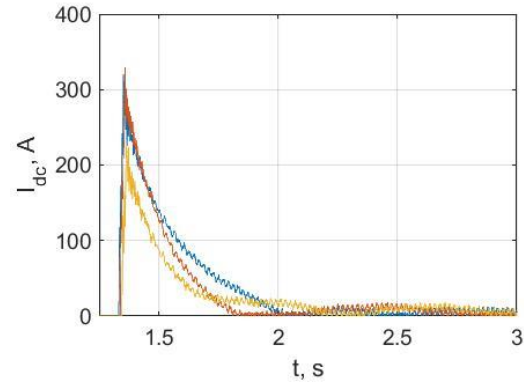
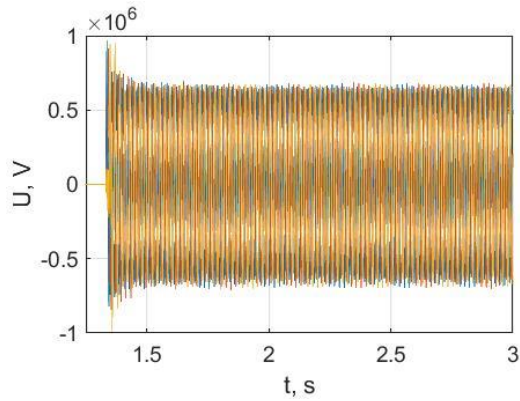


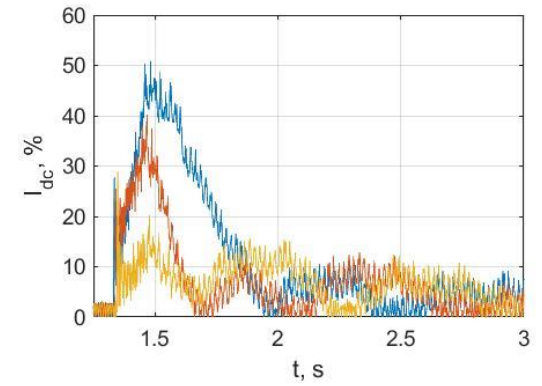
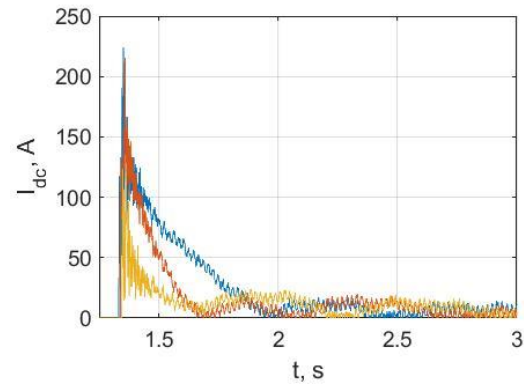
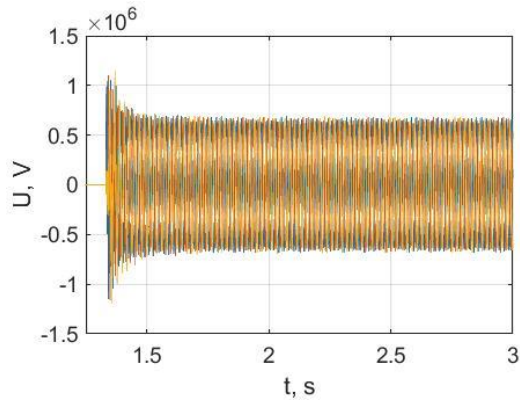
Рис 1. Комутація при проходженні фазної напруги через нуль у момент t_0 . Досліди 1-3.

Результати моделювання

5



8



11

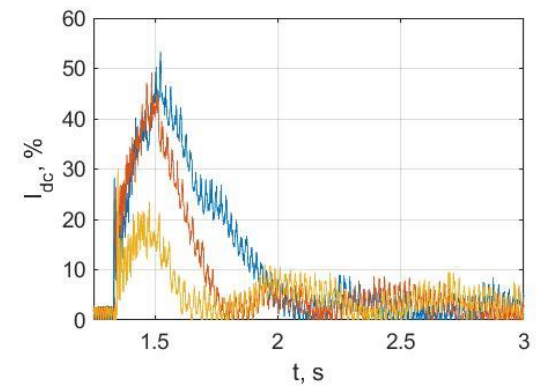
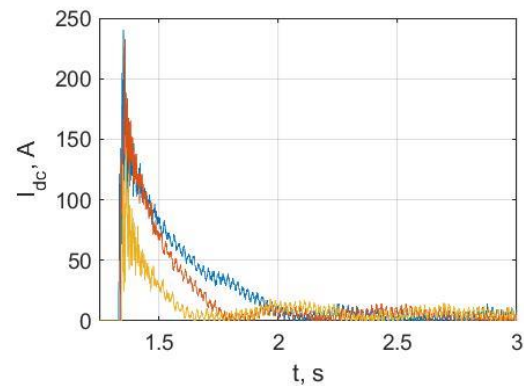
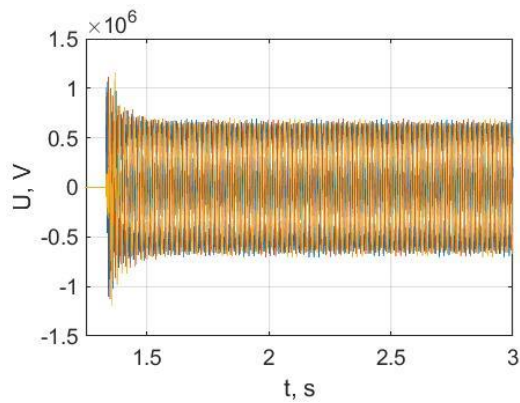


Рис 2. Комутація при проходженні фазної напруги через нуль у момент t_0 . Досліди 5, 8, 11.

Результати моделювання

Таблиця 2. Комутація при проходженні фазної напруги через максимум у момент t_{max} .

№ досліджу	Місце ШР	U _{max} початку, кВ			U _{max} кінця, кВ			I _{dc} , %		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
$\Delta Q = \pm 0,5$ в.о.; $K_p^I = 0,4$										
1	П	1086,0	910,2	858,7	1268,0	1315,0	1080,0	27,2	32,4	31,9
2	К	1119,0	914,9	886,7	1245,0	1210,0	1030,0	22,3	21,7	25,3
3	ПК	1090,0	869,0	838,5	1273,0	1077,0	934,2	26,3	30,3	27,3
$\Delta Q = \pm 0,4$ в.о.; $K_p^I = 0,4$										
4	П	973,7	884,3	933,2	1222,0	1131,0	1137,0	99	116,5	117,5
5	К	973,7	866,4	912,7	1180,0	1030,0	1051,0	41,2	59,8	65,3
6	ПК	936,3	810,6	811,9	1148,0	893,4	977,9	107,4	118,6	99,7
$\Delta Q = \pm 0,3$ в.о.; $K_p^I = 0,4$										
7	П	790,3	740,1	844,9	1019,0	888,3	1017,0	205,4	192,8	182,2
8	К	782,4	754,6	873,4	968,7	842,3	966,8	108,3	120,1	110,7
9	ПК	746,0	740,0	807,9	927,5	774,4	831,9	230,0	206,6	193,8
$\Delta Q = \pm 0,5$ в.о.; $K_p^I = 0,3$										
10	П	815,3	773,4	869,3	1025,0	896,1	1056,0	188,1	193,2	195,7
11	К	804,2	763,6	890,3	978,9	869,7	1021,0	97,2	97,5	99,9
12	ПК	753,0	757,3	823,3	933,2	814,7	904,9	212,8	199,7	185,2

Результати моделювання

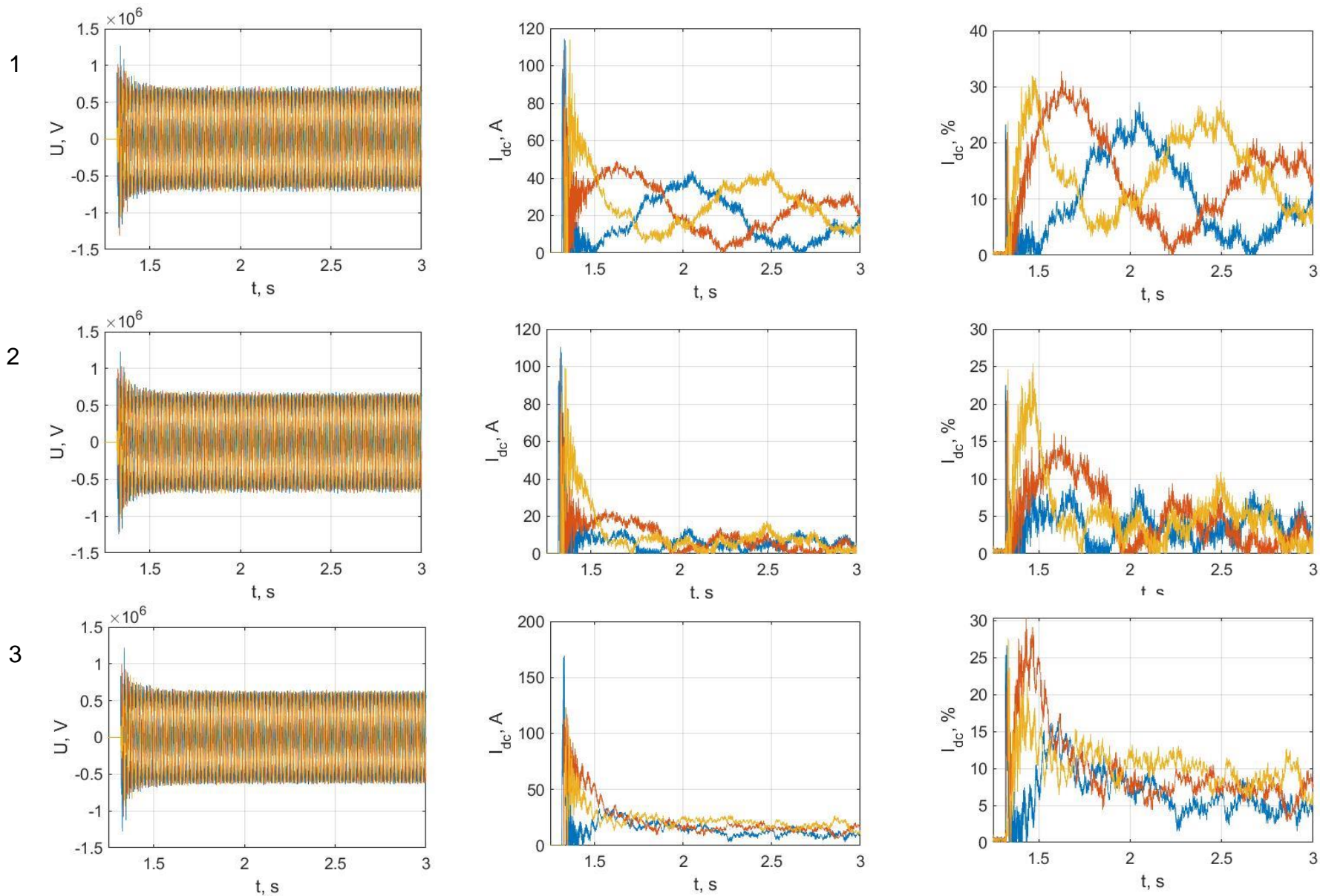
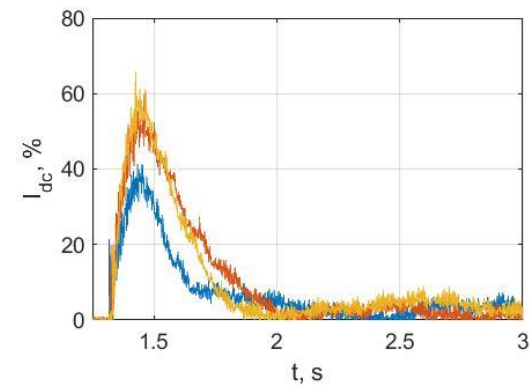
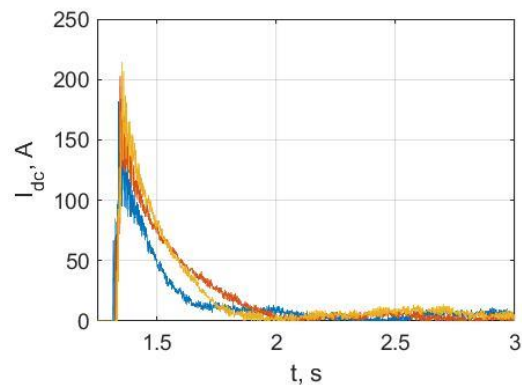
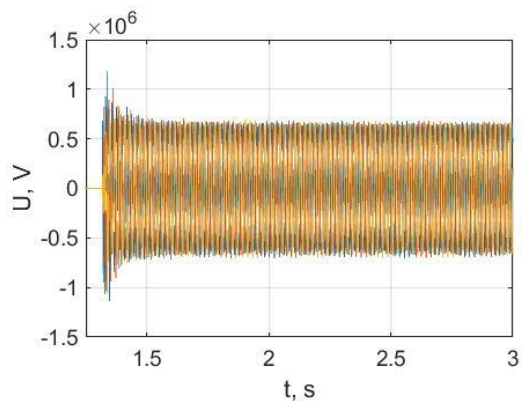


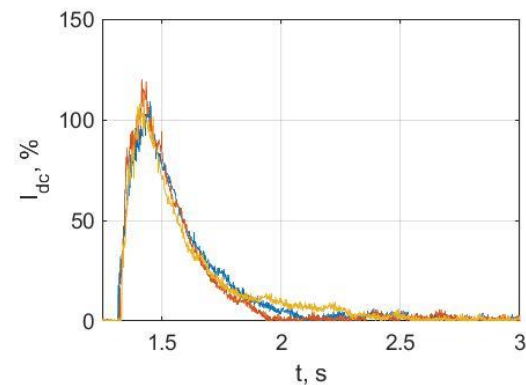
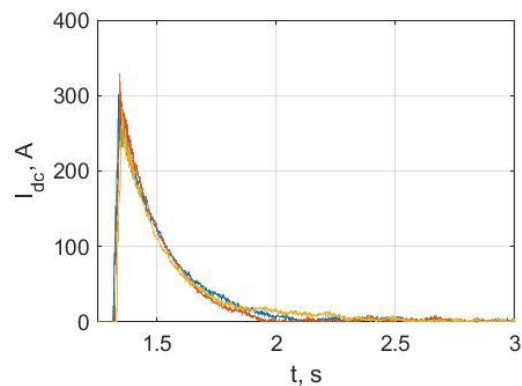
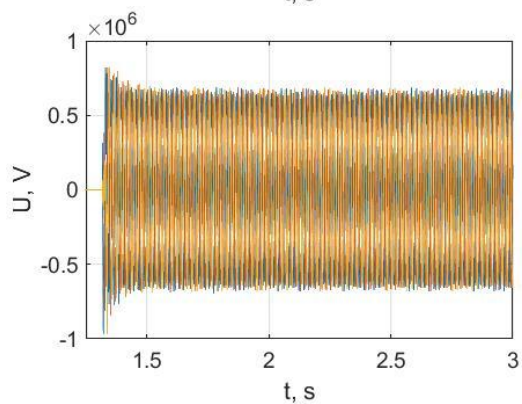
Рис 3. Комутація при проходженні фазної напруги через максимум у момент t_{max} . Досліди 1-3.

Результати моделювання

5



8



11

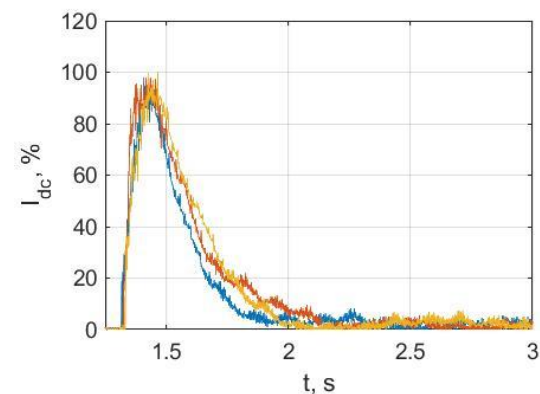
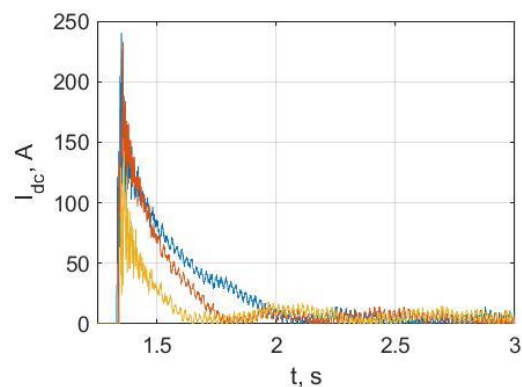
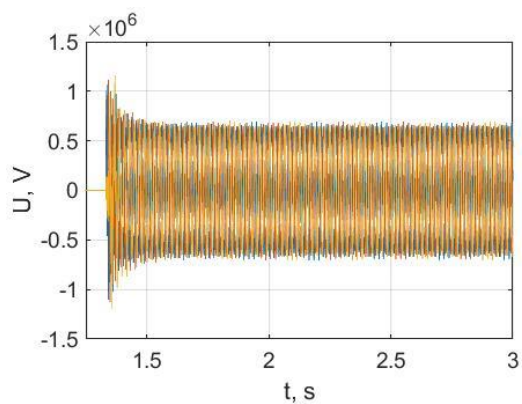


Рис 4. Комутація при проходженні фазної напруги через максимум у момент t_{max} . Досліди 5, 8, 11.

Результати моделювання

Таблиця 3. Комутація у момент $t_s = t_{\max} - 0,003$.

№ дослідю	Місце ШР	U _{max} початку, кВ			U _{max} кінця, кВ			I _{dc} , %		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
$\Delta Q = \pm 0,5$ в.о.; $K_p^I = 0,4$										
1	П	1025,0	966,5	1000,0	1140,0	1153,0	1265,0	124,9	109,0	104,2
2	К	1023	951,6	1007,0	1084,0	1085,0	1181,0	66,7	60,4	31,7
3	ПК	985,7	919,5	962,2	1082,0	1039,0	1043,0	116,8	92,4	104,1
$\Delta Q = \pm 0,47$ в.о.; $K_p^I = 0,4$										
4	П	1031,0	972,1	980,8	1111,0	1224,0	1273,0	103,5	87,7	88,1
5	К	1059,0	959,3	1016,0	1142,0	1149,0	1183,0	53,8	50,2	27,8
6	ПК	1029,0	920,9	969,9	1136,0	1042,0	1053,0	97,6	76,7	84,9
$\Delta Q = \pm 0,45$ в.о.; $K_p^I = 0,4$										
7	П	1077,0	953,7	963,9	1162,0	1275,0	1265,0	86,3	64,2	55,9
8	К	1111,0	937,2	1004,0	1191,0	1176,0	1163,0	49,5	33,4	26,8
9	ПК	1081,0	906,9	952,6	1192,0	1051,0	1053,0	73,2	53,5	69,4
$\Delta Q = \pm 0,5$ в.о.; $K_p^I = 0,3$										
10	П	995,7	885,4	941,6	1233,0	1172,0	1164,0	90,3	110,2	108,8
11	К	1003,0	872,7	914,1	1195,0	1061,0	1070,0	37,6	52,8	56,4
12	ПК	952,3	799,5	809,8	1144,0	911,3	984,4	100,1	104,9	103,4

Результати моделювання

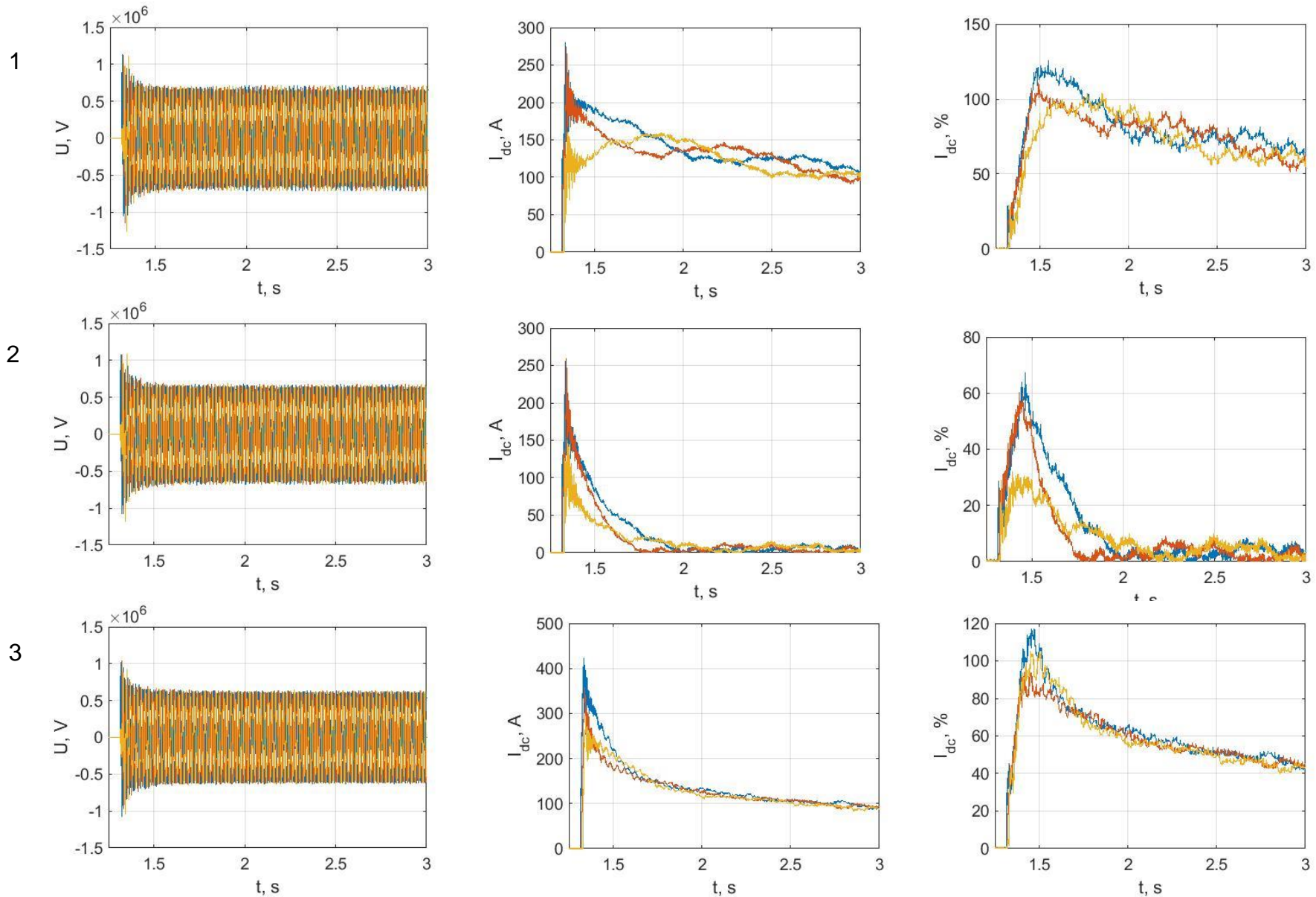
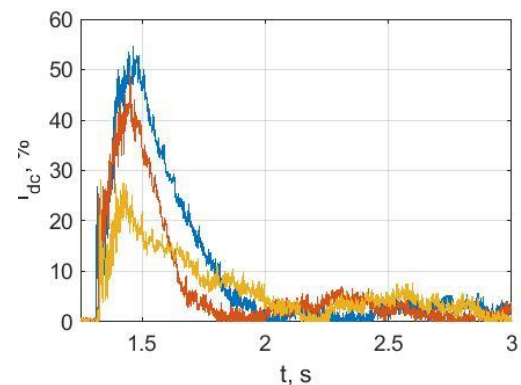
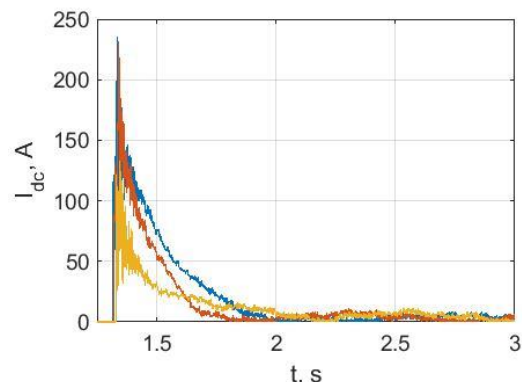
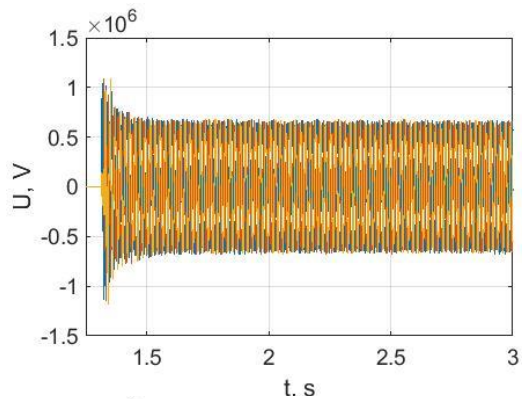


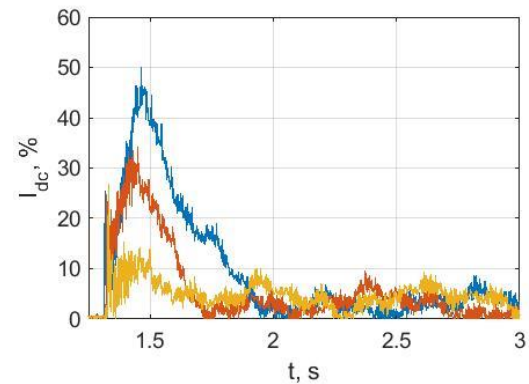
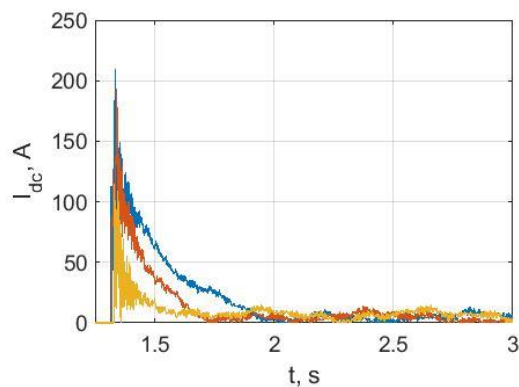
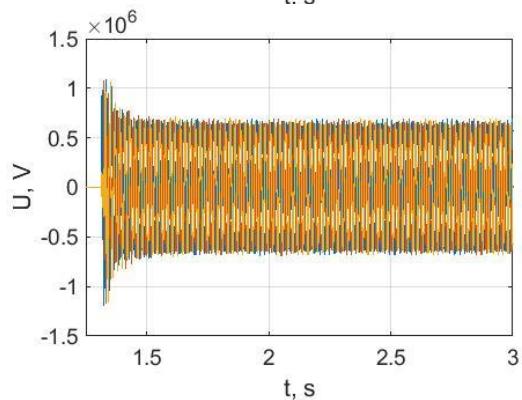
Рис 5. Комутація у момент $t_s = t_{\max} - 0,003$. Досліди 1-3.

Результати моделювання

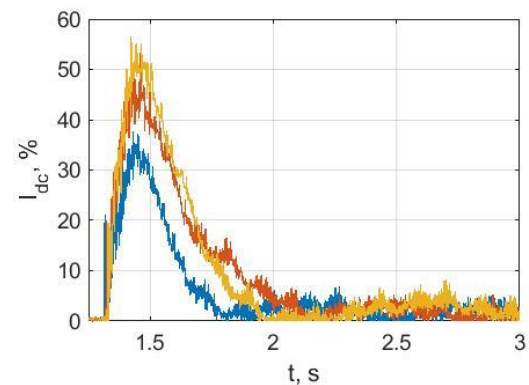
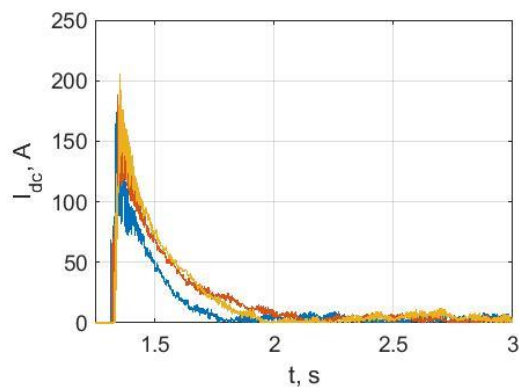
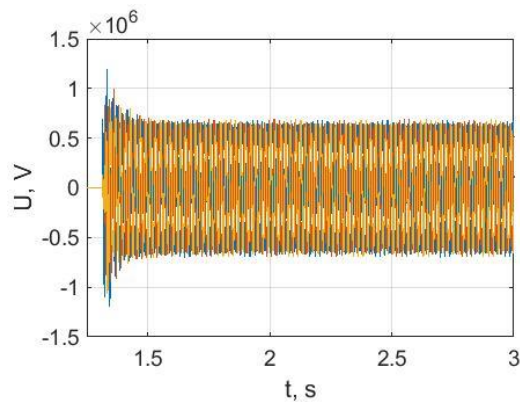
5



8



11

Рис 6. Комутація у момент $t_s = t_{\max} - 0,003$. Досліди 5, 8, 11.

Аналіз оптимальних умов комутації

За аперіодичним струмом:

- Комутація при проходженні фазної напруги через нуль у момент t_0 : 8, 11;
- Комутація при проходженні фазної напруги через максимум у момент t_{\max} : 1, 2, 3 ;
- Комутація у момент $t_{\max} - 0,003$: 5, 8, 11.

Дослід	Початок				Кінець			
	A	B	C	Max	A	B	C	Max
	t0							
11-8	-14,0	3,7	3,0	-14,0	-43,0	-37,0	1,0	1,0
	tmax							
2-1	33,0	4,7	28,0	33,0	-23,0	-105,0	-50,0	-70,0
3-1	4,0	-41,2	-20,2	4,0	5,0	-238,0	-145,8	-42,0
3-2	-29,0	-45,9	-48,2	-29,0	28,0	-133,0	-95,8	28,0
	ts							
8-5	52,0	-22,1	-12,0	52,0	49,0	27,0	-20,0	8,0
11-5	-56,0	-86,6	-101,9	-56,0	53,0	-88,0	-113,0	12,0
11-8	-108,0	-64,5	-89,9	-108,0	4,0	-115,0	-93,0	4,0
	Ітог							
tmax - t0	70,0	-65,2	-133,3	70,0	148,0	85,0	-166,0	49,0
ts - t0	-46,0	-107,4	-105,9	-46,0	98,0	-64,0	-126,0	-1,0
ts - tmax	-116,0	-42,2	27,4	-116,0	-50,0	-149,0	40,0	-50,0

Оптимальний режим – ts 11:

- Момент комутації $t_s = t_{\max} - 0,003$;
- ШР в кінці лінії;
- $\Delta Q = \pm 0,5$ в.о.; $K_p^I = 0,3$.

Висновки

- Основними засобами впливу на параметри перехідного процесу під час постановки ЛЕП змінного струму під напругу в гібридній енергосистемі залишаються шунтувальні реактори (місце їх підключення і потужність) та момент здійснення комутації.
- Налаштування параметрів системи керування перетворювача має суттєвий вплив на величини перенапруги і аперіодичних складових струмів при постановці під напругу ЛЕП 750 кВ, що живиться від передачі ПСВН. За рахунок підбору параметрів регуляторів перетворювача можна досягти більш точного впливу на параметри перехідного процесу.
- Зміна налаштувань системи керування перетворювача для зменшення величини перенапруги призводить до збільшення величини аперіодичних струмів і, навпаки.
- Оптиміальне налаштування системи керування перетворювача підвищує надійність функціонування гібридних енергосистем під час постановки ЛЕП змінного струму під напругу.

Дякую за увагу