

В.В. Шилов, В.М. Грушко, И.Я. Чернов, В.В. Доронкин

РАСЧЁТ СИЛЫ ТОКА ДВУХФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ШАХТНЫХ СЕТЯХ С КОМПЛЕКТНЫМИ ТРАНСФОРМАТОРНЫМИ ПОДСТАНЦИЯМИ МОЩНОСТЬЮ 1000 И 1250 КВ·А

Зависимость силы двухфазного тока короткого замыкания от параметров трансформаторов мощностью 1000 и 1250 кВ·А.

К л ю ч е в ы е с л о в а: подстанция, мощность, напряжение, приведенная длина кабельной сети, сила тока короткого замыкания.

Залежність сили двофазного струму короткого замикання від параметрів трансформаторів потужністю 1000 і 1250 кВ·А.

К л ю ч о в і с л о в а: підстанція, потужність, напруга, наведена довжина кабельної мережі, сила струму короткого замикання.

Постановка проблемы. В настоящее время отечественной промышленностью освоены и поставляются на шахты Украины комплектные трансформаторные подстанции (КТП) мощностью 1000 и 1250 кВ·А, технические характеристики которых приведены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика	Значение для подстанции типа	
	КТПВ-1000/6-0,69/1,2	КТПВ-1250/6-1,2
Номинальная мощность, кВ·А	1000	1250
Номинальное напряжение, кВ: сторона высшего напряжения сторона низшего напряжения	6,0 0,69; 1,2	6,0 1,2
Способ и диапазон регулирования напряжения	ПБВ±5%	ПБВ±5%
Схема и группа соединения обмоток	У/Д – 11; У/У - 0	Д/У – 11
Напряжение короткого замыкания, %	5,0	5,2
Ток холостого хода, %	1,0	0,95
Потери короткого замыкания, кВт	7,25	7,7
Потери холостого хода, кВт	2,8	3,2

В таблице 2 приведены уставки силы тока максимальной токовой защиты (МТЗ) рассматриваемых КТП с датчиками тока типа ДТ.

Таблица 2

Тип подстанции	Номинальное напряжение, В	Номинальная сила тока, А	Датчик тока		Уставка силы тока МТЗ БКЗ-3МК										
			Тип	Номинальная сила тока, А	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
КТПВ-1000/6-0,69/1,2	690	830	ДТ-8	800	1600	2000	2400	2800	3200	3600	4000	4400	4800	5200	5400
	1200	481		500	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500	2750	3000	3250	3500
КТПВ-1250/6-1,2	1200	601	ДТ-5	500	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500	2750	3000	3250	3500

Анализ исследований и публикаций. На протяжении нескольких десятилетий энергомеханические службы (ЭМС) угольных шахт использовали так называемый упрощенный метод расчета тока КЗ, изложенный в ряде нормативных документов и справочников, начиная с 50-х годов XX ст., в том числе, например, в Инструкции по выбору и проверке уставок реле, которая является приложением к Правилам безопасности в угольных и сланцевых шахтах (ПБ) в редакции 1964 г.

При упрощенном методе расчета двухфазного тока КЗ не учитывались ни мощность КЗ на шинах системы электроснабжения, ни влияние высоковольтного кабеля, питающего силовой трансформатор или КТП. Поэтому действительные значения тока КЗ оказывались меньше расчетных, что снижало фактический коэффициент чувствительности защиты, особенно если учесть допустимые отклонения срабатывания устройств максимальной токовой защиты (до +10 %). Все это могло привести к несрабатыванию защиты, т.е. к тяжелой аварии в сети электроснабжения. Для устранения этого недостатка в Справочнике [1] был предложен уточненный метод расчета тока КЗ, учитывающий влияние высоковольтного кабеля, питающего силовой трансформатор или КТП, и индуктивного сопротивления внешней системы электроснабжения.

При разработке «Инструкции по определению токов короткого замыкания, выбору и проверке уставок максимальной токовой защиты в сетях напряжением до 1140 В» для очередной редакции ПБ (1986 г.) использована основная идея уточненного метода, однако в расчетную формулу внесе-

ны изменения. Инструкция к украинским ПБ [2] повторяет все положения и расчетные таблицы, помещенные в ПБ (1986 г.).

Порядок и результаты расчёта силы двухфазного тока короткого замыкания (КЗ) в шахтных сетях напряжением 400, 690 и 1200 В, изложенные в [2], ограничены мощностью 630 кВ·А. Расчеты для мощности КТП 1000 и 1250 кВ·А отсутствуют.

В этой связи актуальной является информация о возможных значениях силы тока двухфазного КЗ, необходимая специалистам, занятым выбором аппаратуры защиты шахтных сетей.

Цель статьи. Расчет силы тока двухфазного КЗ в шахтных распределительных сетях напряжением 690 и 1200 В, питающихся от КТП мощностью 1000 и 1250 кВ·А, для выбора уставок их МТЗ.

Результаты исследований. Расчётные данные силы двухфазного тока КЗ для рассматриваемых КТП мощностью 1000 кВ·А напряжением 690 и 1200 В и мощностью 1250 кВ·А напряжением 1200 В, полученные нами по стандартной методике [2], представлены соответственно в таблицах 3, 4 и 5.

Таблица 3

Приведенная длина кабельной сети, м	Расчетная минимальная сила тока двухфазного короткого замыкания, А, в сети напряжением 690 В, питающейся от КТПВ-1000/6 при мощности короткого замыкания высоковольтной сети, МВ·А									
	10	15	20	25	30	40	50	60	80	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	5121	6370	7229	7869	8375	9159	9776	10277	10955	11407
20	4598	5678	6445	7033	7510	8265	8868	9313	9835	10175
40	4158	5079	5737	6243	6655	7306	7822	8175	8538	8769
60	3786	4570	5125	5550	5892	6428	6844	7111	7358	7511
80	3470	4139	4606	4959	5242	5676	6006	6207	6376	6479
100	3199	3773	4168	4462	4695	5047	5309	5462	5581	5653
120	2965	3461	3796	4044	4237	4524	4735	4854	4940	4991
140	2761	3193	3480	3689	3851	4089	4260	4354	4418	4456
160	2582	2960	3209	3387	3524	3723	3864	3939	3988	4018
180	2424	2758	2974	3128	3244	3412	3530	3592	3631	3653
200	2284	2580	2770	2903	3004	3147	3247	3298	3329	3347
220	2159	2423	2590	2707	2794	2918	3004	3047	3072	3086
240	2046	2283	2432	2535	2611	2719	2793	2829	2850	2862
260	1944	2158	2291	2382	2450	2544	2608	2640	2657	2668
280	1852	2046	2165	2247	2307	2390	2446	2474	2488	2497
300	1768	1944	2052	2125	2179	2253	2303	2327	2339	2347
320	1691	1852	1950	2016	2064	2130	2175	2196	2207	2213
340	1620	1768	1857	1917	1960	2020	2060	2079	2088	2094
360	1555	1691	1772	1827	1866	1920	1956	1973	1981	1986
380	1495	1621	1695	1745	1781	1830	1862	1878	1885	1889

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
400	1439	1556	1624	1670	1703	1748	1777	1791	1797	1801
420	1388	1496	1559	1601	1631	1672	1699	1712	1717	1721
440	1339	1440	1499	1537	1565	1603	1627	1639	1644	1647
460	1295	1388	1443	1479	1504	1539	1562	1572	1577	1580
480	1252	1340	1391	1424	1448	1480	1501	1511	1515	1517
500	1213	1295	1342	1373	1396	1425	1445	1454	1457	1460
520	1176	1253	1297	1326	1347	1374	1392	1401	1404	1406
540	1141	1213	1255	1282	1301	1327	1344	1351	1355	1357
560	1108	1176	1215	1241	1259	1283	1298	1306	1309	1310
580	1077	1142	1178	1202	1219	1241	1256	1263	1265	1267
600	1048	1109	1143	1166	1182	1203	1216	1222	1225	1227
620	1020	1078	1110	1131	1146	1166	1179	1185	1187	1188
640	993	1048	1079	1099	1113	1132	1144	1149	1151	1153
660	968	1020	1050	1068	1082	1099	1111	1116	1118	1119
680	945	994	1022	1040	1052	1069	1079	1084	1086	1087
700	922	969	995	1012	1024	1040	1050	1054	1056	1057
720	900	945	970	986	997	1012	1022	1026	1028	1029
740	880	922	946	961	972	986	995	999	1001	1002
760	860	901	923	938	948	962	970	974	976	976
780	841	880	902	915	925	938	946	950	951	952
800	823	860	881	894	903	916	923	927	928	929
820	806	841	861	874	883	894	902	905	906	907
840	789	823	842	854	863	874	881	884	885	886
860	773	806	824	836	844	854	861	864	865	866
880	758	789	807	818	826	836	842	845	846	847
900	743	773	790	801	808	818	824	827	828	828
920	729	758	774	784	791	801	807	809	810	811
940	715	743	759	769	775	784	790	793	793	794
960	702	729	744	753	760	769	774	776	777	778
980	689	716	730	739	745	753	759	761	762	762
1000	677	702	716	725	731	739	744	746	747	747

Таблица 4

Приведенная длина кабельной сети, м	Расчетная минимальная сила тока двухфазного короткого замыкания, А, в сети напряжением 1200 В, питающейся от КТПВ-1000/6 при мощности короткого замыкания высоковольтной сети, МВА									
	10	15	20	25	30	40	50	60	80	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	2945	3663	4157	4524	4816	5266	5621	5909	6299	6559
20	2839	3526	4005	4366	4656	5109	5469	5751	6115	6355
40	2740	3394	3855	4206	4490	4937	5294	5565	5898	6117
60	2646	3268	3709	4048	4322	4757	5104	5360	5661	5857
80	2557	3148	3569	3893	4156	4573	4906	5146	5415	5588

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
100	2474	3034	3434	3742	3993	4390	4706	4928	5166	5319
120	2395	2926	3305	3597	3834	4210	4507	4711	4921	5055
140	2320	2823	3182	3458	3682	4035	4313	4500	4685	4801
160	2249	2726	3065	3326	3537	3868	4127	4297	4459	4561
180	2182	2634	2955	3200	3398	3708	3948	4103	4246	4335
200	2118	2547	2850	3081	3267	3556	3779	3919	4045	4123
220	2058	2465	2751	2968	3143	3412	3619	3747	3858	3926
240	2001	2387	2657	2862	3025	3276	3468	3584	3683	3743
260	1946	2314	2569	2761	2914	3149	3326	3432	3519	3573
280	1895	2244	2485	2666	2810	3028	3193	3290	3367	3414
300	1845	2177	2406	2577	2711	2915	3068	3157	3226	3268
320	1798	2115	2331	2492	2618	2809	2950	3032	3094	3131
340	1754	2055	2260	2412	2531	2709	2840	2915	2971	3005
360	1711	1998	2193	2336	2448	2615	2737	2806	2857	2887
380	1670	1944	2129	2264	2370	2526	2640	2704	2750	2777
400	1631	1893	2068	2196	2296	2443	2549	2608	2649	2674
420	1594	1844	2011	2132	2226	2364	2464	2518	2556	2578
440	1558	1797	1956	2071	2160	2290	2383	2434	2468	2488
460	1524	1753	1904	2013	2097	2220	2307	2354	2386	2404
480	1491	1710	1854	1958	2038	2153	2235	2279	2308	2325
500	1460	1670	1807	1906	1981	2090	2168	2209	2235	2251
520	1429	1631	1762	1856	1928	2031	2104	2142	2166	2181
540	1400	1594	1719	1809	1877	1974	2043	2079	2101	2115
560	1372	1558	1678	1763	1828	1921	1986	2019	2040	2053
580	1346	1524	1639	1720	1782	1870	1931	1963	1982	1994
600	1320	1491	1601	1679	1738	1821	1879	1909	1927	1938
620	1295	1460	1566	1640	1696	1775	1830	1858	1875	1885
640	1271	1430	1531	1602	1655	1731	1783	1810	1826	1835
660	1247	1401	1498	1566	1617	1689	1739	1764	1779	1787
680	1225	1373	1466	1532	1580	1649	1696	1720	1734	1742
700	1203	1346	1436	1498	1545	1611	1656	1678	1691	1699
720	1183	1320	1407	1467	1511	1574	1617	1638	1650	1658
740	1162	1295	1378	1436	1479	1539	1580	1600	1612	1618
760	1143	1271	1351	1407	1448	1505	1544	1564	1574	1581
780	1124	1248	1325	1379	1418	1473	1510	1529	1539	1545
800	1106	1226	1300	1351	1389	1442	1478	1495	1505	1511
820	1088	1204	1276	1325	1362	1412	1447	1463	1472	1478
840	1071	1183	1253	1300	1335	1384	1417	1433	1441	1446
860	1054	1163	1230	1276	1310	1356	1388	1403	1411	1416
880	1038	1144	1208	1253	1285	1330	1360	1375	1383	1387
900	1022	1125	1187	1230	1261	1305	1334	1348	1355	1359
920	1007	1106	1167	1208	1238	1280	1308	1322	1328	1333
940	992	1089	1147	1187	1216	1256	1283	1296	1303	1307
960	978	1072	1128	1167	1195	1234	1260	1272	1278	1282
980	964	1055	1110	1147	1174	1212	1237	1249	1255	1258
1000	950	1039	1092	1128	1154	1190	1214	1226	1232	1235

Таблица 5

Приведенная длина кабельной сети, м	Расчетная минимальная сила тока двухфазного короткого замыкания, А, в сети напряжением 1200 В, питающейся от КТПВ-1250/6 при мощности короткого замыкания высоковольтной сети, МВА									
	10	15	20	25	30	40	50	60	80	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	3078	3898	4477	4914	5262	5805	6236	6590	7079	7409
20	2961	3739	4297	4724	5069	5615	6053	6400	6854	7158
40	2851	3588	4121	4533	4870	5406	5839	6171	6583	6856
60	2748	3445	3951	4345	4668	5186	5605	5917	6284	6526
80	2651	3309	3788	4162	4470	4964	5363	5651	5974	6184
100	2560	3180	3633	3986	4277	4743	5118	5382	5664	5845
120	2474	3060	3485	3818	4091	4528	4878	5118	5362	5518
140	2393	2946	3346	3658	3914	4321	4646	4862	5074	5208
160	2317	2838	3215	3507	3746	4125	4424	4619	4803	4918
180	2245	2737	3091	3365	3588	3939	4214	4390	4549	4648
200	2177	2642	2975	3231	3438	3764	4016	4175	4313	4399
220	2113	2552	2865	3105	3298	3599	3831	3974	4095	4169
240	2052	2468	2762	2986	3167	3445	3659	3788	3894	3958
260	1994	2388	2665	2875	3043	3302	3498	3615	3708	3764
280	1939	2313	2573	2771	2927	3167	3348	3454	3536	3585
300	1887	2242	2487	2672	2819	3041	3208	3304	3377	3421
320	1838	2174	2406	2580	2717	2924	3078	3166	3230	3269
340	1791	2110	2330	2493	2621	2814	2956	3036	3094	3129
360	1746	2050	2257	2411	2531	2711	2843	2916	2968	2999
380	1703	1993	2189	2334	2447	2615	2737	2805	2851	2879
400	1662	1938	2124	2261	2367	2524	2638	2700	2742	2767
420	1623	1887	2063	2192	2292	2439	2545	2603	2641	2663
440	1586	1837	2005	2127	2221	2359	2458	2511	2546	2566
460	1551	1791	1950	2065	2154	2284	2376	2426	2457	2476
480	1516	1746	1897	2007	2091	2213	2299	2345	2374	2391
500	1484	1703	1848	1951	2031	2146	2227	2270	2296	2312
520	1452	1663	1800	1899	1974	2082	2159	2199	2223	2238
540	1422	1624	1755	1849	1920	2023	2094	2132	2154	2168
560	1393	1587	1712	1801	1869	1966	2034	2068	2089	2102
580	1365	1551	1671	1756	1820	1912	1976	2009	2028	2039
600	1339	1517	1632	1713	1774	1861	1921	1952	1970	1981
620	1313	1484	1594	1671	1730	1812	1870	1899	1915	1925
640	1288	1453	1558	1632	1687	1766	1820	1848	1863	1872

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
660	1264	1423	1524	1594	1647	1722	1774	1799	1814	1822
680	1241	1394	1491	1558	1609	1680	1729	1754	1767	1775
700	1219	1366	1459	1524	1572	1640	1687	1710	1722	1730
720	1197	1340	1429	1491	1537	1602	1646	1668	1680	1687
740	1176	1314	1400	1459	1503	1565	1608	1628	1640	1646
760	1156	1289	1372	1429	1471	1530	1571	1591	1601	1607
780	1137	1265	1345	1400	1440	1497	1535	1554	1564	1570
800	1118	1242	1319	1372	1410	1465	1502	1520	1529	1534
820	1100	1220	1294	1345	1382	1434	1469	1486	1495	1500
840	1082	1198	1270	1319	1354	1404	1438	1455	1463	1468
860	1065	1177	1246	1293	1328	1376	1408	1424	1432	1437
880	1049	1157	1224	1269	1303	1349	1380	1395	1402	1407
900	1033	1138	1202	1246	1278	1323	1352	1367	1374	1378
920	1017	1119	1181	1224	1255	1297	1326	1340	1346	1350

Вывод. Результаты расчёта силы тока двухфазного КЗ позволяют определить уставки МТЗ в шахтных сетях напряжением 690 и 1200 В, питающихся от КТП мощностью 1000 и 1250 кВ А.

Список литературы

1. Дзюбан В.С. Справочник энергетика угольной шахты / В.С. Дзюбан, Я.С. Римап, А.К. Маслий. – М.: Недра, 1983.
2. Инструкция по определению токов короткого замыкания, выбору и проверке уставок максимальной токовой защиты в сетях напряжением до 1200 В, утвержденная приказом Министерства топлива и энергетики Украины от 18.11.2002 №667// Сборник инструкций к Правилам безопасности в угольных шахтах.–К., 2003.–Т.2.–С.224-242.