

Основные данные трехфазных двухобмоточных трансформаторов с естественным масляным охлаждением с алюминиевыми (№ 1—21) и медными (№ 22\*—24\*) обмотками

| № п/п | Общие данные         |                           |                           |      | Обмотки      |     |                                 |       |  |                        |          |   | Магнитная система              |                          |                                   |              |                |            | Контрольные данные              |            |            |           |           |
|-------|----------------------|---------------------------|---------------------------|------|--------------|-----|---------------------------------|-------|--|------------------------|----------|---|--------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|--------------|----------------|------------|---------------------------------|------------|------------|-----------|-----------|
|       | Мощность $S_n$ , кВА | Схемы и группа соединений | Номинальные напряжения, В |      | Число витков |     | Сечение витков, мм <sup>2</sup> |       | Внутренний диаметр обмотки НН $D_1$ , см | Радиальные размеры, см |          | Канал между обмотками ВН и НН $a_{12}$ , см | Высота обмотки, $l_1=l_2$ , см | Диаметр стержня $d$ , см | Активное сечение, см <sup>2</sup> |              | Высота, см     |            | Расстояние между осями $S$ , см | $P_x$ , Вт | $P_x$ , Вт | $u_x$ , % | $i_0$ , % |
|       |                      |                           | ВН                        | НН   | ВН           | НН  | ВН                              | НН    |  | ВН $a_1$               | НН $a_2$ |   |                                |                          | стержень $\Pi_c$                  | ядро $\Pi_x$ | стержень $h_c$ | ядро $h_x$ |                                 |            |            |           |           |
| 1     | 25                   | Y/Y-0                     | 10000                     | 400  | 3153         | 126 | 1.225                           | 23.9  | 9.8                                      | 2.75                   | 1.5      | 1.0   | 28.2                           | 9.0                      | 52.1                              | 54.3         | 32             | 8.5        | 21.3                            | 590        | 140        | 4.5       | 8         |
| 2     | 40                   | " "                       | " "                       | " "  | 2504         | 100 | 1.74                            | 37.5  | 10.8                                     | 4.05                   | 1.6      | 0.9   | 32.0                           | 10.0                     | 65.4                              | 71.6         | 36             | 9.5        | 25                              | 900        | 200        | 4.5       | 6.6       |
| 3     | 63                   | " "                       | " "                       | " "  | 2080         | 83  | 2.78                            | 50.7  | 11.8                                     | 3.5                    | 1.35     | 0.9   | 39.4                           | 11.0                     | 78.9                              | 86.0         | 43.4           | 10.5       | 25.5                            | 1320       | 270        | 4.5       | 5.5       |
| 4     | 100                  | " "                       | " "                       | " "  | 1745         | 70  | 3.46                            | 95.7  | 12.8                                     | 3.25                   | 2.35     | 0.9   | 48.0                           | 12.0                     | 95.1                              | 99.3         | 52             | 11.5       | 27                              | 2100       | 360        | 4.5       | 4.8       |
| 5     | 160                  | " "                       | " "                       | " "  | 1250         | 50  | 6.29                            | 130.2 | 14.9                                     | 4.2                    | 2.45     | 0.9   | 46.0                           | 14.0                     | 127.3                             | 133.9        | 52             | 13.5       | 30.7                            | 2740       | 580        | 4.5       | 4.7       |
| 6     | 250                  | " "                       | " "                       | " "  | 950          | 38  | 9.79                            | 200.4 | 17.0                                     | 4.05                   | 2.6      | 0.95  | 50.0                           | 16.0                     | 168.7                             | 175.6        | 55.5           | 15.5       | 33                              | 3820       | 800        | 4.5       | 4.1       |
| 7     | 400                  | " "                       | " "                       | " "  | 750          | 30  | 15.9                            | 280.0 | 19.0                                     | 4.4                    | 2.65     | 0.9   | 55.6                           | 18.0                     | 213.4                             | 226.5        | 62             | 17         | 36                              | 5650       | 1100       | 4.5       | 3.5       |
| 8     | 160                  | " "                       | 35000                     | 400  | 4375         | 50  | 2.22                            | 138.2 | 15.4                                     | 5.2                    | 1.6      | 3.0   | 56.0                           | 14.0                     | 125.6                             | 130.7        | 71             | 13.5       | 37                              | 2500       | 770        | 6.5       | 8.6       |
| 9     | 250                  | " "                       | " "                       | " "  | 3335         | 38  | 3.20                            | 204.4 | 17.0                                     | 5.2                    | 2.4      | 2.9   | 57.5                           | 16.0                     | 166.0                             | 172.2        | 72.5           | 15.5       | 40                              | 3540       | 840        | 6.5       | 5.1       |
| 10    | 400                  | " "                       | " "                       | " "  | 2631         | 30  | 5.43                            | 259.8 | 19.0                                     | 5.7                    | 2.2      | 3.1   | 65.0                           | 18.0                     | 210.8                             | 217.1        | 80             | 17         | 43                              | 5330       | 1050       | 6.5       | 4.2       |
| 11    | 630                  | " "                       | " "                       | " "  | 2105         | 24  | 8.45                            | 593.0 | 24.1                                     | 5.7                    | 2.65     | 3.1   | 79.0                           | 20.0                     | 263.7                             | 276.8        | 94             | 19         | 49                              | 6800       | 1750       | 6.5       | 3.8       |
| 12    | 1000                 | Y/Δ-11                    | 10000                     | 6300 | 425          | 464 | 34.9                            | 27.9  | 27.2                                     | 4.1                    | 3.4      | 2.0   | 68.0                           | 24.0                     | 371                               | 371          | 78             | 23         | 48                              | 11260      | 2840       | 5.5       | 2.8       |
| 13    | 1600                 | " "                       | " "                       | " "  | 375          | 409 | 58.6                            | 54.6  | 29.0                                     | 4.25                   | 4.0      | 2.0   | 96.5                           | 26.0                     | 428                               | 433          | 107            | 25         | 52                              | 16200      | 3780       | 5.5       | 2.6       |
| 14    | 2500                 | " "                       | " "                       | " "  | 268          | 292 | 78.9                            | 78.9  | 33.5                                     | 4.4                    | 4.1      | 2.0   | 89.5                           | 30.0                     | 588.3                             | 597          | 100            | 29         | 56                              | 23000      | 5280       | 5.5       | 2         |
| 15    | 4000                 | " "                       | " "                       | " "  | 214          | 234 | 134.6                           | 125.8 | 37.5                                     | 5.45                   | 5.15     | 2.1   | 97.0                           | 34.0                     | 736.3                             | 744.3        | 108            | 33         | 65                              | 33000      | 7360       | 6.5       | 1.8       |
| 16    | 6300                 | " "                       | " "                       | " "  | 170          | 186 | 219.0                           | 174.9 | 41.5                                     | 6.1                    | 5.4      | 2.45  | 115.0                          | 38.0                     | 927.8                             | 945.8        | 126            | 37         | 71                              | 46500      | 10350      | 6.5       | 1.6       |
| 17    | 1000                 | Y/Δ-11                    | 35000                     | 6300 | 1487         | 464 | 11.1                            | 29.9  | 27.2                                     | 5.3                    | 3.4      | 3.1   | 75.5                           | 24.0                     | 371                               | 371          | 92             | 23         | 54                              | 11000      | 3180       | 6.5       | 3         |
| 18    | 1600                 | " "                       | " "                       | " "  | 1312         | 409 | 16.3                            | 57.9  | 29.0                                     | 4.45                   | 3.85     | 3.1   | 101.5                          | 26.0                     | 428                               | 433          | 118            | 25         | 55                              | 16400      | 4200       | 6.5       | 2.8       |
| 19    | 2500                 | " "                       | " "                       | " "  | 937          | 292 | 23.8                            | 74.1  | 33.7                                     | 4.9                    | 3.5      | 3.25  | 95.5                           | 30.0                     | 588.3                             | 588.3        | 113            | 29         | 60                              | 23000      | 5900       | 6.5       | 2.2       |
| 20    | 4000                 | " "                       | " "                       | " "  | 750          | 234 | 37.6                            | 117.0 | 37.5                                     | 5.9                    | 5.1      | 2.75  | 96.5                           | 34.0                     | 736.3                             | 744.3        | 113            | 33         | 68                              | 34200      | 7700       | 7.5       | 2         |
| 21    | 6300                 | Y/Δ-11                    | 35000                     | 6300 | 596          | 186 | 62.9                            | 174.9 | 41.5                                     | 6.15                   | 5.25     | 2.85  | 113.5                          | 38.0                     | 927.8                             | 944          | 131            | 37         | 73                              | 46800      | 10800      | 7.5       | 1.8       |
| 22    | 1000                 | Y/Y-0                     | 10000                     | 6300 | 433          | 273 | 19.0                            | 40.5  | 27.2                                     | 3.75                   | 3.2      | 2.1   | 68.0                           | 24.0                     | 371                               | 371          | 78             | 23         | 48                              | 11260      | 2700       | 5.5       | 2.8       |
| 23    | 1000                 | Y/Δ-11                    | 38500                     | 6300 | 1636         | 464 | 5.73                            | 25.7  | 27.4                                     | 4.2                    | 3.15     | 3.55  | 76.0                           | 24.0                     | 371                               | 371          | 92             | 23         | 54                              | 9640       | 3220       | 6.5       | 3         |
| 24    | 6300                 | Y/Δ-11                    | 33000                     | 6600 | 563          | 195 | 51.4                            | 150.5 | 41.5                                     | 5.3                    | 5.3      | 3.4   | 113.5                          | 38.0                     | 927.8                             | 944          | 131            | 37         | 73                              | 34900      | 11000      | 7.5       | 1.8       |

Таблица 2

Основные данные трехфазных двухобмоточных трансформаторов с естественным воздушным охлаждением  
с медными (№ 25\*...31\*) и алюминиевыми (№ 32...44) обмотками

| № п/п | Общие данные         |                           |                           |     | Обмотки      |    |                                 |       |  |                        |          |   | Магнитная система              |                          |                                   |            |                |            | Контрольные данные              |            |            |           |           |
|-------|----------------------|---------------------------|---------------------------|-----|--------------|----|---------------------------------|-------|--|------------------------|----------|---|--------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|------------|----------------|------------|---------------------------------|------------|------------|-----------|-----------|
|       | Мощность $S_n$ , кВА | Схемы и группа соединений | Номинальные напряжения, В |     | Число витков |    | Сечение витков, мм <sup>2</sup> |       | Внутренний диаметр обмотки НН $D_1$ , см | Радиальные размеры, см |          | Канал между обмотками ВН и НН $a_{12}$ , см | Высота обмотки, $l_1=l_2$ , см | Диаметр стержня $d$ , см | Активное сечение, см <sup>2</sup> |            | Высота, см     |            | Расстояние между осями $S$ , см | $P_x$ , Вт | $P_x$ , Вт | $u_x$ , % | $i_0$ , % |
|       |                      |                           | ВН                        | НН  | ВН           | НН | ВН                              | НН    |  | ВН $a_1$               | НН $a_2$ |   |                                |                          | стержень $P_c$                    | ядро $P_x$ | стержень $h_c$ | ядро $h_x$ |                                 |            |            |           |           |
| 25    | 10                   | Y/Y-0                     | 380                       | 230 | 142          | 86 | 6.29                            | 13.9  | 10.5                                     | 1.1                    | 2.15     | 1.35  | 17.1                           | 9.5                      | 55                                | 64.5       | 22             | 9          | 22                              | 300        | 75         | 4.8       | 12        |
| 26    | 16                   | " "                       | " "                       | " " | 129          | 78 | 10.6                            | 19.4  | 10.5                                     | 1.2                    | 2.2      | 1   | 26.9                           | 9.5                      | 53.5                              | 62.4       | 32             | 9          | 22                              | 480        | 110        | 4.10      | 10        |
| 27    | 25                   | " "                       | " "                       | " " | 99           | 60 | 20.5                            | 35.2  | 13                                       | 1.5                    | 2.45     | 1   | 27.6                           | 11                       | 73.2                              | 87.6       | 32             | 10.5       | 27                              | 620        | 150        | 4         | 5.5       |
| 28    | 40                   | " "                       | " "                       | " " | 73           | 44 | 32.4                            | 58.3  | 14                                       | 1.6                    | 2.3      | 1   | 29                             | 12                       | 91.5                              | 111.5      | 34             | 11.5       | 28                              | 740        | 230        | 3.2       | 7         |
| 29    | 63                   | " "                       | " "                       | " " | 66           | 40 | 30.1                            | 112.5 | 15                                       | 1.85                   | 2.85     | 1   | 41.5                           | 13                       | 109.5                             | 120.5      | 48             | 12.5       | 31                              | 1330       | 300        | 3.7       | 4.7       |
| 30    | 100                  | " "                       | " "                       | " " | 43           | 26 | 51.4                            | 162   | 20.5                                     | 2.4                    | 3.35     | 1.5   | 40.5                           | 17.5                     | 167                               | 184        | 48             | 16.5       | 39                              | 1860       | 530        | 4.1       | 5.2       |
| 31    | 160                  | " "                       | " "                       | " " | 33           | 20 | 94.0                            | 244.2 | 22.5                                     | 2.5                    | 3.25     | 2.5   | 51                             | 19.5                     | 212                               | 241.5      | 60             | 18.5       | 41                              | 2400       | 800        | 4.3       | 4.8       |
| 32    | 10                   | " "                       | " "                       | " " | 142          | 86 | 10.3                            | 18.9  | 10.5                                     | 1.7                    | 2.4      | 1   | 16.9                           | 9.5                      | 55                                | 64.5       | 22             | 9          | 22                              | 335        | 75         | 4.8       | 12        |
| 33    | 16                   | " "                       | " "                       | " " | 129          | 78 | 16.3                            | 32.4  | 10.5                                     | 1.6                    | 2.6      | 1   | 26.8                           | 9.5                      | 55                                | 64.5       | 32             | 9          | 22                              | 530        | 110        | 4.6       | 10        |
| 34    | 25                   | " "                       | " "                       | " " | 99           | 60 | 32.3                            | 59.8  | 13                                       | 2                      | 3.05     | 1   | 27.5                           | 11                       | 73.2                              | 87.6       | 32             | 10.5       | 27                              | 670        | 150        | 5.1       | 5.5       |
| 35    | 40                   | " "                       | " "                       | " " | 73           | 44 | 47.2                            | 103.5 | 14                                       | 2                      | 3.4      | 1   | 29                             | 12                       | 91.5                              | 111.5      | 34             | 11.5       | 28                              | 750        | 230        | 4.1       | 7         |
| 36    | 63                   | " "                       | " "                       | " " | 66           | 40 | 30                              | 112   | 15                                       | 1.85                   | 2.85     | 1   | 41.5                           | 13                       | 109.5                             | 120.5      | 48             | 12.5       | 31                              | 1330       | 300        | 3.7       | 4.7       |
| 37    | 100                  | " "                       | " "                       | " " | 43           | 26 | 86.2                            | 271.6 | 20.5                                     | 2.85                   | 4.25     | 1.5   | 40.5                           | 17.5                     | 167                               | 184        | 48             | 16.5       | 39                              | 1960       | 530        | 4.8       | 5.2       |
| 38    | 160                  | " "                       | " "                       | " " | 33           | 20 | 135.8                           | 440   | 22.5                                     | 2.9                    | 4.25     | 1.5   | 51                             | 19.5                     | 212                               | 241.5      | 60             | 18.5       | 41                              | 2640       | 800        | 4         | 4.8       |
| 39    | 160                  | Y/Δ-11                    | 30000                     | 230 | 1807         | 24 | 3.46                            | 348.8 | 19                                       | 2.7                    | 3.1      | 3.6   | 57.5                           | 16                       | 172                               | 175        | 78             | 15         | 42                              | 2600       | 830        | 5.5       | 5.2       |
| 40    | 250                  | " "                       | " "                       | " " | 1430         | 19 | 5.85                            | 585   | 21                                       | 2.7                    | 3.3      | 3.9   | 73.5                           | 18                       | 221                               | 223        | 89             | 17         | 45                              | 3500       | 1050       | 5.5       | 4.3       |
| 41    | 400                  | " "                       | " "                       | 400 | 1212         | 28 | 9.39                            | 553.2 | 24                                       | 2.5                    | 3.85     | 3.9   | 96.5                           | 21                       | 264                               | 266        | 112            | 20         | 49                              | 3300       | 1600       | 5.5       | 3.4       |
| 42    | 630                  | " "                       | " "                       | " " | 909          | 21 | 15                              | 935   | 31                                       | 2.6                    | 4.1      | 3.9   | 104.5                          | 24                       | 351                               | 360        | 121            | 23         | 56                              | 7200       | 2330       | 5.5       | 2.9       |
| 43    | 1000                 | " "                       | " "                       | " " | 693          | 16 | 20.6                            | 1488  | 35                                       | 3.6                    | 4.7      | 3.55  | 118.8                          | 28                       | 451                               | 460        | 137            | 27         | 63                              | 11100      | 3460       | 5.5       | 3.1       |
| 44    | 600                  | " "                       | " "                       | " " | 563          | 13 | 32.3                            | 2690  | 38                                       | 3.3                    | 5.4      | 3.6   | 145                            | 31                       | 563                               | 573        | 164            | 30         | 67                              | 15200      | 5000       | 5.5       | 2.5       |

Примечания:

1.  $f=50$  Гц.
2. Обмотки ВН имеют пять ступеней напряжения: 95; 97,5; 100; 102,5; 105% от  $U_{ном}$ . Напряжения и числа витков обмотки ВН даны для средней ступени.
3. Магнитные системы собраны в переплет, с прямыми стыками из холоднокатаной стали марки 3413 – 0,35 мм.
4. Обмотки НН трансформаторов № 1...11, 22 и 25...38 соединены по схеме звезда с нулевым выводом.

Таблица 3

Удельные потери и удельная намагничивающая мощность для холоднокатаной электро-технической стали марки 3413 толщиной 0,35 мм

| Индукция<br>$B$ , Тл | Удельные потери $p$ ,<br>Вт/кг | Удельная намагничивающая мощность |  |
|----------------------|--------------------------------|-----------------------------------|--|
|                      |                                | для стали $q$ ,<br>В·А/кг         | для зазоров $q_z$ ,<br>В·А/см <sup>2</sup> |
| 1,0                  | 0,6                            | 1,0                               | 0,166                                      |
| 1,06                 | 0,666                          | 1,15                              | 0,2  |
| 1,1                  | 0,71                           | 1,25                              | 0,222                                      |
| 1,16                 | 0,782                          | 1,43                              | 0,255                                      |
| 1,2                  | 0,83                           | 1,57                              | 0,277                                      |
| 1,26                 | 0,914                          | 1,82                              | 0,445                                      |
| 1,3                  | 0,97                           | 2,0                               | 0,555                                      |
| 1,36                 | 1,07                           | 2,38                              | 0,89                                       |
| 1,4                  | 1,13                           | 2,62                              | 1,11                                       |
| 1,46                 | 1,23                           | 3,26                              | 1,44                                       |
| 1,5                  | 1,3                            | 3,7                               | 1,67                                       |
| 1,56                 | 1,45                           | 4,63                              | 2,27                                       |
| 1,6                  | 1,55                           | 5,39                              | 2,66                                       |
| 1,66                 | 1,76                           | 7,26                              | 3,64                                       |
| 1,7                  | 1,9                            | 9,75                              | 4,44                                       |
| 1,76                 | 2,19                           | 14,3                              | 6,3  |
| 1,8                  | 2,38                           | 17,8                              | 7,7  |

*Фазные значения номинального напряжения, а также номинальный ток и его фазные значения на сторонах ВН и НН, и коэффициент трансформации (для средней ступени напряжения ВН) это Y/Y-0 для других групп и схем соединения см. формулы учебник*

$$U_{1\phi\text{НОМ}} = \frac{U_{1\text{НОМ}}}{\sqrt{3}}$$

$$U_{2\phi\text{НОМ}} = \frac{U_{2\text{НОМ}}}{\sqrt{3}}$$

$U_{1\text{НОМ}}$  – Номинальное напряжение ВН (В)     $U_{2\text{НОМ}}$  – Номинальное напряжение НН (В)

*Номинальные значения и фазные значения токов*

$$I_{1\text{НОМ}} = I_{1\phi} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_1}$$

$$I_{2\text{НОМ}} = I_{1\phi} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_2}$$

$U_{12}$  – номинальные напряжения,  $S$  – мощность.

Коэффициент трансформации

$$k = \frac{w_1}{w_2}$$

$w_1$  – Число витков ВН

$w_2$ — Число витков НН

1. Магнитная система и чертеж

2. а) потери холостого хода  $P_x$ , реактивная мощность  $Q_x$ , ток холостого хода  $i_0$  и его активная  $i_{0a}$  и реактивная  $i_{0p}$  составляющие, а так же  $\cos\varphi_0$  – все величины для номинального значения фазного напряжения  $U_{1\text{фном}}$  при  $f = 50$  Гц; Потери холостого хода  $P_x$ :

$$P_x = K_d \cdot (p_c G_c + p_y G_y) =$$

Индукции в стержнях и ярмах

$$B_c = \frac{U_{1\text{фном}} \cdot 10^4}{4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \Pi_c} =$$

$$B_y = \frac{U_{1\text{фном}} \cdot 10^4}{4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \Pi_y} =$$

Массы сталей стержней и ярм:

$$G_c = 3h_c \cdot \rho_{\text{ст}} \cdot \Pi_c =$$

$$G_y = 2 \cdot l_y \cdot \rho_{\text{ст}} \cdot \Pi_y =$$

$$l_y = 2 \cdot C + d =$$

Намагничивающая мощность магнитной системы (реактивная мощность х.х.)

$$Q_x = q_c G_c + q_y G_y + q_{зс} n_{зс} \Pi_c + q_{зя} n_{зя} \Pi_y =$$

$$i_{0a} = \frac{P_x}{10 \cdot S} =$$

$$i_{0p} = \frac{Q_x}{10 \cdot S} =$$

$$i_0 = \sqrt{i_{0a}^2 + i_{0p}^2} =$$

Реальный ток холостого хода, А

$$I_{0a} = \frac{i_{0a} \cdot I_{1\text{фном}}}{100} =$$

$$I_{0p} = \frac{i_{0p} \cdot I_{1\text{фном}}}{100} =$$

$$I_0 = \frac{i_0 \cdot I_{1\text{фном}}}{100} =$$

$$\cos\varphi_0 = \frac{I_{0a}}{I_0} =$$

$$\sin\varphi_0 = \frac{I_{0p}}{I_0} =$$

$K_d$  – постоянный коэффициент он равен 1,25

$p_c$  и  $p_y$  – удельные потери стали стержней и ярм, определенные по таблице 3. для соответствующих индукций в стержне  $B_c$  и ярме  $B_y$ , Вт/кг;

$G_c$  и  $G_y$  – Массы стали и стержни ярм, кг.

Плотность холоднокатаной стали  $\rho_{ст} = 7650 \text{ кг/м}^3$

$h_c$  – Высота стержня см;

$C$  – Расстояние между осями см;

$d$  – Диаметр стержня см;

$q_{зс}$  и  $q_{зя}$  – Удельные намагничивающие мощности для зазоров в стержнях и ярах  $\text{В} \cdot \text{А/см}^2$ ;

$q_c$  и  $q_я$  – Удельная намагничивающая мощность для стали в стержнях и ярах  $\text{В} \cdot \text{А/кг}$ ;

$n_{зс}$  и  $n_{зя}$  – Число воздушных зазоров;

$\Pi_c$  и  $\Pi_я$  – Активное сечение стержней и ярм  $\text{см}^2$ ;

$G_c$  и  $G_я$  – Массы стали стержней и ярм кг;

$w_1$  – Число витков в обмотке ВН;

$f$  – частота, Гц.

$i_{0а}$  – активная составляющая тока %;

$i_{0р}$  – реактивная составляющая тока %;

$Q_x$  – реактивная мощность ВАр.

$P_x$  – Потери холостого хода Вт;

$S$  – Мощность (кВА).

$I_0$ -реальный ток холостого хода, А

$I_{1\text{фном}}$  – Номинальные значения и фазные значения токов.

Параметры схемы замещения трансформатора:

$$z_0 = \frac{U_{1\text{фном}}}{I_0} =$$

$$r_0 = z_0 \cdot \cos\varphi_0 =$$

$$x_0 = \sqrt{z_0^2 - r_0^2} =$$

г) Потери холостого хода при номинальном фазном напряжении первичной обмотки (обмотки ВН) с учетом изменения индукции при изменении частоты. При этом

$$P_x = P_{x50} \cdot \left(\frac{B}{B_{50}}\right)^2 \left(\frac{f}{f_{50}}\right)^{1,5}$$

Где  $P_{x50}, B_{x50}, f_{x50}$  – данные при частоте 50 Гц.

$$B_{c40} = \frac{U_{1\text{фном}} \cdot 10^4}{4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \Pi_c} = \frac{219 \cdot 10^4}{4,44 \cdot 40 \cdot 142 \cdot 55} = 1,58 \text{ Тл};$$

$$B_{c60} = \frac{U_{1\text{фном}} \cdot 10^4}{4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \Pi_c} = \frac{219 \cdot 10^4}{4,44 \cdot 60 \cdot 142 \cdot 55} = 1,05 \text{ Тл};$$

$$B = \frac{U_{1\text{фном}} \cdot 10^4}{4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \Pi_c} = \frac{219 \cdot 10^4}{4,44 \cdot 50 \cdot 142 \cdot 55} = 1,26 \text{ Тл};$$

потери холостого хода

$$P_{x40} = P_x \cdot \left(\frac{B_{c40}}{B}\right)^2 \left(\frac{f}{f_{50}}\right)^{1,5} = 78,6 \cdot \left(\frac{1,58}{1,26}\right)^2 \left(\frac{40}{50}\right)^{1,5} = 162 \text{ Вт};$$

При частоте 40

$$P_{x60} = P_x \cdot \left(\frac{B_{c60}}{B}\right)^2 \left(\frac{f}{f_{50}}\right)^{1,5} = 78,6 \cdot \left(\frac{1,05}{1,26}\right)^2 \left(\frac{60}{50}\right)^{1,5} = 72 \text{ Вт};$$

При частоте 60

Потери короткого замыкания  $P_k$ , напряжение короткого замыкания  $u_k\%$  и  $U_k(\text{В})$ , а также составляющее – активная  $u_{ка}$ , реактивная  $u_{кр}$  и  $\cos\varphi_k$ , сопротивление короткого замыкания  $z_k$  и его составляющие  $r_k, x_k$ , (Ом);

Потери короткого замыкания рассчитываются для каждой обмотки и затем суммируются:

Основные потери при  $+75^\circ\text{C}$  в медных обмотках 2,4. // Если у вас алюминиевые обмотки тогда у вас 12,75 .

$$P_{\text{осн}} = P_{\text{осн1}} + P_{\text{осн2}} =$$

$$P_{\text{осн1}} = 2,4J_1^2 \cdot G_{01} =$$

$$P_{\text{осн2}} = 2,4J_2^2 \cdot G_{02} =$$

Плотность тока в обмотках

$$J_1 = \frac{I_{1\text{НОМ}}}{S_{\text{пр1}}} =$$

$$J_2 = \frac{I_{2\text{НОМ}}}{S_{\text{пр2}}} =$$

Масса обмоток (обмотки медные)=28 у **алюминиевых** = 8,47

$$G_{01} = 28 \cdot C \cdot D_{\text{ср1}} \cdot w_1 \cdot S_{\text{пр1}} \cdot 10^{-5} =$$

$$G_{02} = 28 \cdot C \cdot D_{\text{ср2}} \cdot w_2 \cdot S_{\text{пр2}} \cdot 10^{-5} =$$

$$D_{\text{ср1}} = D_1 + 2a_1 =$$

$$D_{\text{ср2}} = D_1 + 2a_1 + 2a_{12} + \frac{a_2}{2} =$$

$D_1$  – диаметр обмотки НН;

$S_{\text{пр1}}$  – сечение витков.

**Все табличные значения, смотреть по номеру варианта**

Потери короткого замыкания трансформатора

$$P_{\text{к}} = P_{\text{осн}} \cdot k_{\text{доб}} =$$

где  $k_{доб}$  может быть принят для трехфазных трансформаторов мощностью до 100 кВА – 1,03; 160 – 630 кВА – 1,06; 1000 – 6300 кВА – 1,12.

Напряжение короткого замыкания  $u_k\%$  и  $U_k(\text{В})$ , а также составляющее – активная  $u_{ка\%}$ , реактивная  $u_{кр\%}$  и  $\cos\varphi_k$ , сопротивление короткого замыкания  $z_k$  и его составляющие  $r_k, x_k$ , (Ом);

$$u_{a\%} = \frac{P_k}{10 \cdot S} =$$
$$u_{p\%} = \frac{7,92 \cdot f \cdot S' \cdot \beta \cdot a_p \cdot k_p \cdot 10^{-3}}{U'_B{}^2} =$$

Где  $U'_B$  - напряжение в одном витке  $U'_B = \frac{U_{1\phi}}{w_1} =$

$S' = \frac{S}{C}$  мощность на один стержень

C- число стержней (3) как в методичке.

$$\beta = \frac{\pi \cdot d_{12}}{l} =$$

$$d_{12} = D_1 + 2a_1 + a_{12} =$$

$$a_p = a_{12} + \frac{a_1 + a_2}{3} =$$

$$k_p = 0,95$$

$$u_{k\%} = \sqrt{u_{a\%}^2 + u_{p\%}^2} =$$

$$U_{\text{к}} = \frac{U_{1\text{фном}} \cdot u_{\text{к}\%}}{100} =$$

$$U_{\text{ка}} = \frac{U_{1\text{фном}} \cdot u_{\text{ка}\%}}{100} =$$

Обратить внимание на формулы и посмотреть

ход решения в основной методичке, где то опечатка.

$$U_{\text{кр}} = \frac{U_{1\text{фном}} \cdot u_{\text{кр}\%}}{100} =$$

$$Z_{\text{к}} = \frac{U_{\text{к}}}{I_1} =$$

$$r_{\text{к}} = \frac{U_{\text{ка}}}{I_1} =$$

$$x_{\text{к}} = \frac{U_{\text{кр}}}{I_1} =$$

$$\cos\varphi_{\text{к}} = \frac{U_{\text{ка}}}{U_{\text{кр}}} =$$

б) Изменение вторичного напряжения  $\Delta U = f(\varphi_2)$  при номинальном токе ( $K_{нг} = 1$ )

$$\Delta U = U_{ка} \cdot \cos \varphi_2 + U_{кр} \cdot \sin \varphi_2 =$$

Результаты расчетов сводим в таблицу

|               |     |     |     |     |   |    |    |    |    |
|---------------|-----|-----|-----|-----|---|----|----|----|----|
| $\varphi_2$   | -90 | -60 | -45 | -30 | 0 | 30 | 45 | 60 | 90 |
| $\Delta U, В$ |     |     |     |     |   |    |    |    |    |

$$\Delta U = U_{ка} \cdot \cos (-90) + U_{кр} \cdot \sin (-90) =$$

$$\Delta U = U_{ка} \cdot \cos (-60) + U_{кр} \cdot \sin (-60) =$$

$$\Delta U = U_{ка} \cdot \cos (-45) + U_{кр} \cdot \sin (-45) =$$

$$\Delta U = U_{ка} \cdot \cos (-30) + U_{кр} \cdot \sin (-30) =$$

$$\Delta U = U_{ка} \cdot \cos (-0) + U_{кр} \cdot \sin (-0) =$$

$$\Delta U = U_{ка} \cdot \cos (30) + U_{кр} \cdot \sin (30) =$$

$$\Delta U = U_{ка} \cdot \cos (45) + U_{кр} \cdot \sin (45) =$$

$$\Delta U = U_{ка} \cdot \cos (60) + U_{кр} \cdot \sin (60) =$$

$$\Delta U = U_{ка} \cdot \cos (90) + U_{кр} \cdot \sin (90) =$$

Максимальное изменение напряжения при  $\varphi_2 = \varphi_k$

Берется арккосинус от  $\cos\varphi_k =$  и получаем  $\varphi_k =$

$\varphi_k =$ ;  $\Delta U_{max} =$

| $K_{нг}$   | 0 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1 | 1,2 |
|--|---|-----|-----|-----|-----|---|-----|
| $I_2, A$   |   |     |     |     |     |   |     |
| $\Delta U, B$<br>при $\cos\varphi_2 = 1$         |   |     |     |     |     |   |     |
| $\Delta U_{2\phi}, B$<br>при $\cos\varphi_2 = 1$ |   |     |     |     |     |   |     |
| $\Delta U, B$<br>при $\cos\varphi_2 = 0,7$       |   |     |     |     |     |   |     |

|                              |  |  |  |  |  |  |  |
|------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|
| $\Delta U_{2\phi}, \text{В}$ |  |  |  |  |  |  |  |
| при $\cos\varphi_2 = 0,7$    |  |  |  |  |  |  |  |

если  $\cos=1$  то  $\sin=0$  если  $\cos=0,7$   $\sin=0,71$

$I_2$  по формуле  $K_{\text{нг}} \cdot n =$

Где  $n = \frac{I_2}{I_1}$

Проводим расчеты при различных  $K_{\text{нг}}$  и  $\cos\varphi_2$  Полученные данные заносим в таблицу.

При  $K_{\text{нг}} =$

$$U_{2\phi} = \frac{U_{1\text{фном}} - \Delta U}{K} =$$

$$\Delta U = K_{\text{нг}}(U_{\text{ка}} \cdot \cos\varphi_2 + U_{\text{кр}} \sin\varphi_2) =$$

Схема замещения трансформатора с числовыми данными. (Можно считать по другим формулам см учебник)

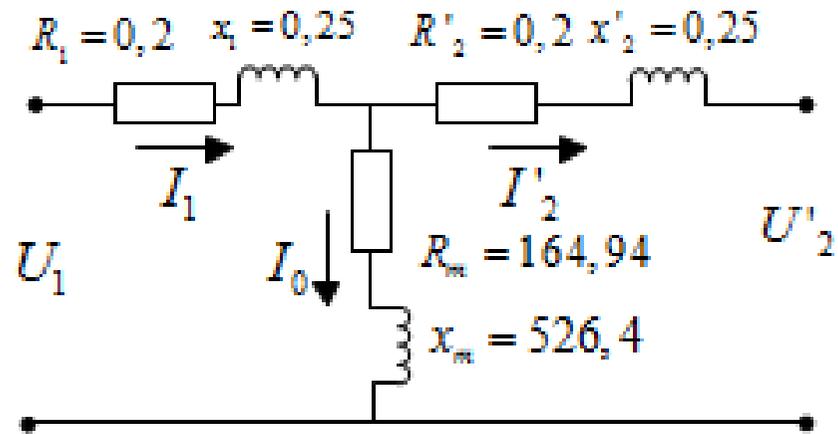


Рис. Схема замещения пример.

При этом  $R_1 = R'_2 = \frac{R_k}{2} =$

$$x_1 = x'_2 = \frac{x_k}{2} =$$

$$R_m \approx R_0 =$$

$$x_m \approx x_0 =$$

Будем считать  $I_0 = 0$ . Тогда  $I_1 = -I'_2$

$$U'_{2\phi} = U_{1\phi\text{ном}} - \Delta U =$$

$$\Delta U = K_{\text{нГ}}(U_{\text{ка}} \cdot \cos\varphi_2 + U_{\text{кр}} \cdot \sin\varphi_2) =$$

$$I'_2 = I_1 =$$

$$\text{Пусть } I_1 = I'_2 =$$

$$\text{Тогда } U'_2 = 209,76 \cdot e^{36,9^\circ} = 209,76 \cdot \cos 36,9^\circ + j \cdot 209,76 \cdot \sin 36,9^\circ = 209,55 + j125,856$$

$$\dot{E}'_2 = \dot{U}'_2 + jx'_2 I_2 + \dot{R}'_2 I_2;$$

$$\dot{R}'_2 I_2 = 0,2 \cdot 15,2 = 3,04 \text{ В}$$

$$jx'_2 I_2 = j0,25 \cdot 15,2 = j3,8$$

$$\dot{E}'_2 = 209,55 + j125,856 + 3,04 + j3,8 = 212,59 + j129,656$$

Под углом  $\frac{\pi}{2}$  откладываем  $\Phi_m$

$$I_1 = -I'_2 = -15,2 \text{ А} \quad \dot{E}_1 = \dot{E}'_2$$

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + jx_1 I_1 + \dot{R}_1 I_1 = -212,59 - j129,656 + 0,2 \cdot (-15,2) + j0,25 \cdot (-15,2) = -215,63 - j133,451$$

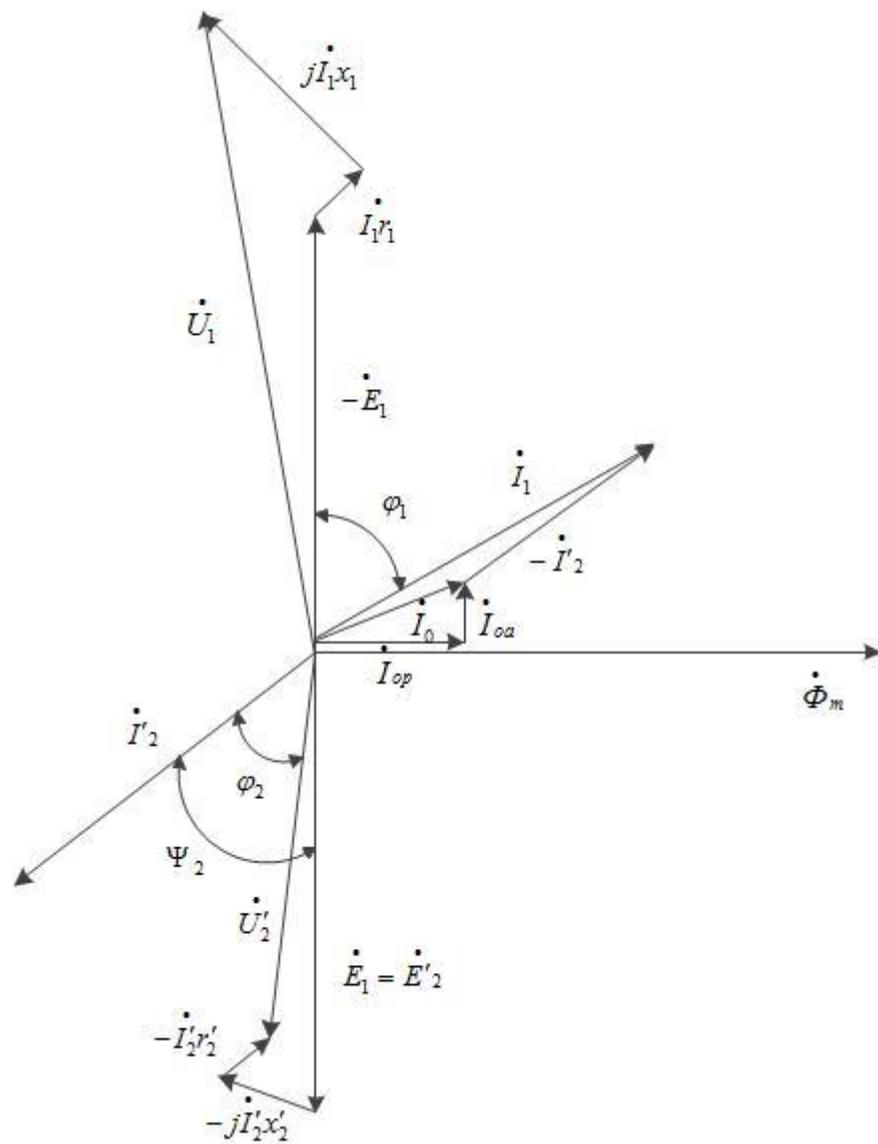


Рис (5.1) **Примерная** Векторная диаграмма приведённого трансформатора для случая активно-индуктивной нагрузки.

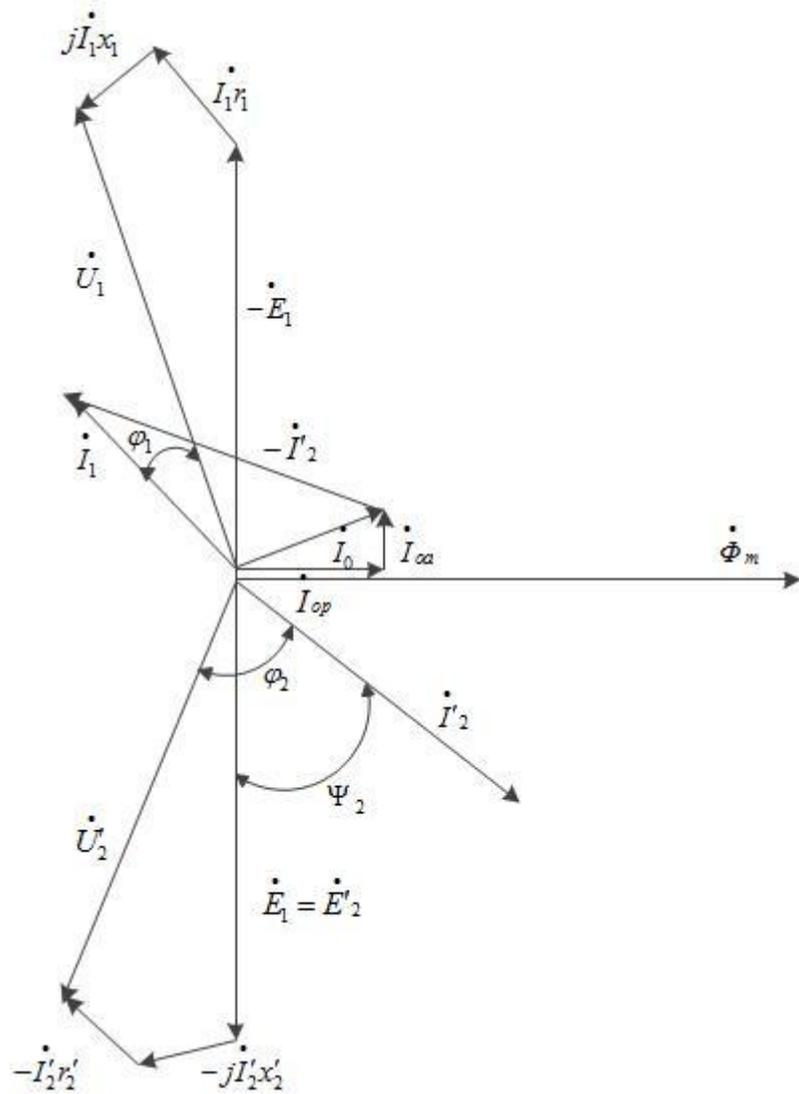


Рис (5.2) **Примерная** Векторная диаграмма приведённого трансформатора для случая активно-емкостной нагрузки.

Зависимость КПД от нагрузки  $\eta = f(P_2)$

для  $\cos\varphi_2 = 1$  и  $\cos\varphi_2 = 0,7$

$$\eta = 1 - \frac{P + K_{\text{НГ}}^2 \cdot P_k}{K_{\text{НГ}} \cdot S_{\text{НОМ}} \cdot \cos\varphi_2 + P + K_{\text{НГ}}^2 \cdot P_k}$$

$$P_2 = S \cdot K_{\text{НГ}} =$$

Максимальное значение КПД при  $\cos\varphi_2 = 1$

$$\text{При } K_{\text{НГ}} = \sqrt{\frac{P_0}{P_k}}$$

7. Ударный ток короткого замыкания

$$i_{\text{кз}} = k_{\text{уд}} \cdot \sqrt{2} \cdot k_{\text{кзуст}} =$$

$$\text{где } k_{\text{кзуст}} = I_{1\text{НОМ}} \cdot \frac{100}{u_k} =$$

$$k_{\text{уд}} = \left(1 + e^{-\frac{\pi \cdot R_k}{\omega \cdot L_k}}\right) = \left(1 + e^{-\frac{\pi \cdot 0,4}{0,5}}\right) =$$