**Расчет режимов работы трехфазных трансформаторов**

По данным трехфазного трансформатора меньшей мощности взятым из таблицы 1 в соответствии с таблицами 2,3 выполнить следующее.

**Часть 1. Расчет параметров трехфазного трансформатора**.

* 1. Определить основные размеры трансформатора: сечение стержней и ярм, расстояние между стержнями, число витков обмоток НН и ВН (Тихомиров П. М. Расчет трансформаторов /П. М. Тихомиров. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 528 с.).
	2. Рассчитать параметры «Т» - образной схемы замещения трансформатора.
	3. Построить векторные диаграммы для номинальной нагрузки приведенного трансформатора при cosφ=1, cosφ=0,8 для φ>0 и φ<0.
	4. В обмотке НН перепутаны начало и конец соответствующей фазы (для четных вариантов фаза *А*, для нечетных *B*). Рассчитать токи и напряжения для стороны низкого напряжения. Построить ВД для трех фаз приведенного трансформатора. Принять, что нагрузка по всем фазам симметричная активно-индуктивная cosφ=0,8, полный ток равен номинальному.
	5. Построить внешние характеристики при изменении коэффициента загрузки трансформатора β от 0 до 1,5 при коэффициенте мощности нагрузки cosφ=1, cosφ=0,8 при φ>0 и φ<0.
	6. Определить изменение напряжения ΔU2 при номинальной нагрузке для cosφ=1, cosφ=0,8 при φ>0 и φ<0.
	7. Построить зависимости КПД η от β для cosφ=1, cosφ=0,8 при φ>0 и φ<0.
	8. Построить зависимость переменных потерь в трансформаторе в диапазоне изменения β от 0 до 1,5.
	9. Построить зависимость постоянных потерь в трансформаторе в диапазоне изменения U1 от 0 до 1,3UН.
	10. Определить максимальное значение КПД при cosφ=1, cosφ=0,8 при φ>0 и φ<0.

**Часть 2. Параллельная работа трансформаторов.**

Два трансформатора работают параллельно на общую нагрузку с cosφ=1. Общая нагрузка параллельной группы равна суммарной номинальной мощности трансформаторов. При расчете полагаем, что трансформатор большей мощности включен на номинальное напряжение, а меньшей на отпайку + 5% (четный вариант) и -5% (нечетный вариант). Следует:

2.1. Определить:

 - уравнительный ток между трансформаторами,

 - потери мощности в трансформаторах,

 - загрузку трансформаторов,

 - определить на сколько нужно снизить общую нагрузку группы трансформаторов, чтобы устранить перегрузку.

**Часть 3. Переходные процессы в трансформаторах.**

* 1. Построить зависимости тока холостого хода, потока, от времени при включении трансформатора на номинальное первичное напряжение с начальной фазой ψu (рис.1). Характеристика намагничивания задается парами значений намагничивающего тока и магнитного потока в относительных единицах.

$$Iμое=\frac{I}{I\_{б}},$$

$$Фμое=\frac{Ф}{Ф\_{б}}.$$

Базисные значения тока и потока (фазные значения)

$$I\_{б}=\frac{Pн}{U1ф}√2$$

$$Ф\_{б}=\frac{U1ф}{2πf}√2$$

* 1. Короткое замыкание на выходе однофазного трансформатора (рис.2).

Воспользовавшись параметрами Т-образной схемы замещения рассчитать переходный процесс к.з. на выходе однофазного трансформатора (построить зависимость тока от времени), Короткое замыкание происходит из номинального режима работы cosφ=1 в моменты времени указанные в таблице 3. Определить ударный ток кз., установившийся ток кз.

 

Рис. 1.



Рис. 2.

**Таблица 1**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №№ | Мощность,кВ∙А | Напряжение, кВ | Схема и группа обмоток | Потери,Вт | uk,% | io,% |
| ВН | НН | Рх | Рк |
| 1 | 25 | 6 | 0,4 | У/Ун-0 | 130 | 600 | 4,5 | 3,2 |
| 2 | 40 | 6 | 0,4 | У/Ун-0 | 175 | 880 | 4,9 | 3,0 |
| 3 | 63 | 6 | 0,4 | У/Ун-0 | 240 | 1280 | 4,7 | 2,8 |
| 4 | 100 | 6 | 0,4 | У/Ун-0 | 330 | 1970 | 4,5 | 2,6 |
| 5 | 160 | 6 | 0,4 | У/Ун-0 | 510 | 2650 | 4,7 | 2,4 |
| 6 | 250 | 6 | 0,4 | У/Ун-0 | 740 | 3700 | 4,9 | 2,3 |
| 7 | 400 | 6 | 0,4 | У/Ун-0 | 950 | 5500 | 4,5 | 2,1 |
| 8 | 630 | 6 | 0,4 | У/Ун-0 | 1310 | 7600 | 4,7 | 2,0 |
| 9 | 1000 | 6 | 0,4 | У/Ун-0 | 2503 | 10600 | 4,7 | 2,0 |
| 10 | 25 | 10 | 0,4 | У/Ун-0 | 130 | 600 | 4,7 | 3,2 |
| 11 | 40 | 10 | 0,4 | У/Ун-0 | 175 | 880 | 4,9 | 3,0 |
| 12 | 63 | 10 | 0,4 | У/Ун-0 | 240 | 1280 | 5,1 | 2,8 |
| 13 | 100 | 10 | 0,4 | У/Ун-0 | 330 | 1970 | 4,7 | 2,6 |
| 14 | 160 | 10 | 0,4 | У/Ун-0 | 510 | 2650 | 4,9 | 2,4 |
| 15 | 250 | 10 | 0,4 | У/Ун-0 | 740 | 3700 | 5,1 | 2,3 |
| 16 | 400 | 10 | 0,4 | У/Ун-0 | 950 | 5500 | 4,7 | 2,1 |
| 17 | 630 | 10 | 0,4 | У/Ун-0 | 1310 | 7600 | 4,9 | 2,0 |
| 18 | 1000 | 10 | 0,4 | У/Ун-0 | 2510 | 11600 | 4,9 | 2,0 |
| 19 | 25 | 35 | 0,4 | У/Ун-0 | 140 | 650 | 6,5 | 2,5 |
| 20 | 40 | 35 | 0,4 | У/Ун-0 | 400 | 1400 | 6 | 1,7 |
| 21 | 60 | 35 | 0,4 | У/Ун-0 | 420 | 1650 | 6,2 | 2,5 |
| 22 | 100 | 35 | 0,4 | У/Ун-0 | 520 | 1970 | 6,1 | 2,6 |
| 23 | 160 | 35 | 0,4 | У/Ун-0 | 620 | 2650 | 6,5 | 2,4 |
| 24 | 250 | 35 | 0,4 | У/Ун-0 | 900 | 3700 | 6,7 | 2,3 |
| 25 | 400 | 35 | 0,4 | У/Ун-0 | 1200 | 5500 | 6,9 | 2,1 |
| 26 | 630 | 35 | 0,4 | У/Ун-0 | 1600 | 7600 | 6,5 | 2,0 |
| 27 | 1000 | 35 | 0,4 | У/Ун-0 | 2750 | 12200 | 6,7 | 1,5 |
| 28 | 1600 | 35 | 0,4 | У/Ун-0 | 3650 | 18000 | 6,9 | 1,4 |
| 29 | 25 | 6 | 0,4 | Д/Ун | 130 | 600 | 4,5 | 3,2 |
| 30 | 40 | 6 | 0,4 | Д/Ун | 175 | 880 | 4,9 | 3,0 |
| 31 | 63 | 6 | 0,4 | Д/Ун | 240 | 1280 | 4,7 | 2,8 |
| 32 | 100 | 6 | 0,4 | Д/Ун | 330 | 1970 | 4,5 | 2,6 |
| 33 | 160 | 6 | 0,4 | Д/Ун | 510 | 2650 | 4,7 | 2,4 |
| 34 | 250 | 6 | 0,4 | Д/Ун | 740 | 3700 | 4,9 | 2,3 |
| 35 | 400 | 6 | 0,4 | Д/Ун | 950 | 5500 | 4,5 | 2,1 |
| 36 | 630 | 6 | 0,4 | Д/Ун | 1310 | 7600 | 4,7 | 2,0 |
| 37 | 1000 | 6 | 0,4 | Д/Ун | 2503 | 10600 | 4,7 | 2,0 |
| 38 | 25 | 10 | 0,4 | Д/Ун | 130 | 600 | 4,7 | 3,2 |
| 39 | 40 | 10 | 0,4 | Д/Ун | 175 | 880 | 4,9 | 3,0 |
| 40 | 63 | 10 | 0,4 | Д/Ун | 240 | 1280 | 5,1 | 2,8 |
| 41 | 100 | 10 | 0,4 | Д/Ун | 330 | 1970 | 4,7 | 2,6 |
| 42 | 160 | 10 | 0,4 | Д/Ун | 510 | 2650 | 4,9 | 2,4 |
| 43 | 250 | 10 | 0,4 | Д/Ун | 740 | 3700 | 5,1 | 2,3 |
| 44 | 400 | 10 | 0,4 | Д/Ун | 950 | 5500 | 4,7 | 2,1 |
| 45 | 630 | 10 | 0,4 | Д/Ун | 1310 | 7600 | 4,9 | 2,0 |
| 46 | 1000 | 10 | 0,4 | Д/Ун | 2510 | 11600 | 4,9 | 2,0 |
| 47 | 25 | 35 | 0,4 | Д/Ун | 140 | 650 | 6,5 | 2,5 |
| 48 | 40 | 35 | 0,4 | Д/Ун | 400 | 1400 | 6 | 1,7 |
| 49 | 60 | 35 | 0,4 | Д/Ун | 420 | 1650 | 6,2 | 2,5 |
| 50 | 100 | 35 | 0,4 | Д/Ун | 520 | 1970 | 6,1 | 2,6 |
| 51 | 160 | 35 | 0,4 | Д/Ун | 620 | 2650 | 6,5 | 2,4 |
| 52 | 250 | 35 | 0,4 | Д/Ун | 900 | 3700 | 6,7 | 2,3 |
| 53 | 400 | 35 | 0,4 | Д/Ун | 1200 | 5500 | 6,9 | 2,1 |
| 54 | 630 | 35 | 0,4 | Д/Ун | 1600 | 7600 | 6,5 | 2,0 |
| 55 | 1000 | 35 | 0,4 | Д/Ун | 2750 | 12200 | 6,7 | 1,5 |
| 56 | 1600 | 35 | 0,4 | Д/Ун | 3650 | 18000 | 6,9 | 1,4 |
| 57 | 2500 | 35 | 0,4 | Д/Ун | 5100 | 25000 | 6,5 | 1,1 |
| 58 | 1600 | 35 | 6,3 | Д/Ун | 3650 | 18000 | 6,9 | 1,4 |
| 59 | 2500 | 35 | 6,3 | Д/Ун | 5100 | 25000 | 6,5 | 1,1 |
| 60 | 4000 | 35 | 6,3 | Д/Ун | 6700 | 33500 | 7,5 | 1 |
| 61 | 1000 | 35 | 6,3 | Д/Ун | 5100 | 25000 | 6,5 | 1,1 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Таблица 2

Номера вариантов и трансформаторов из табл. 1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № вар | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** |
| № трансформаторов | 1,2 | 2,3 | 3,4 | 4,5 | 5,6 | 6,7 | 7,8 | 8,9 | 10,11 | 11,12 | 12,13 |
| № вар | **12** | **13** | **14** | **15** | **16** | **17** | **18** | **19** | **20** | **21** | **22** |
| № трансформаторов | 13,14 | 14,15 | 15,16 | 16,17 | 17,18 | 19,20 | 20,21 | 21,22 | 22,23 | 23,24 | 24,25 |
| № вар | **23** | **24** | **25** | **26** | **27** | **28** | **29** | **30** | **31** | **32** | **33** |
| № трансформаторов | 25,26 | 26,27 | 27,28 | 29,30 | 30,31 | 31,32 | 32,33 | 33,34 | 34,35 | 35,36 | 36,37 |
| № вар | **34** | **35** | **36** | **37** | **38** | **39** | **40** | **41** | **42** | **43** | **44** |
| № трансформаторов | 38,39 | 39,40 | 40,41 | 41,42 | 42,43 | 43,44 | 44,45 | 45,46 | 47,48 | 47,48 | 48,49 |
| № вар | **45** | **46** | **47** | **48** | **49** | **50** | **51** | **53** | **54** | **55** | **56** |
| № трансформаторов | 49,50 | 50,51 | 51,52 | 52,53 | 53,54 | 54,55 | 55,56 | 56,57 | 58,59 | 59,60 | 60,61 |

Таблица 3

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Вар | Остаточный поток Фост | Начальная фаза напряжениия, град ψu | Момент времни к.з, мс. | Параметры кривой намагничивания |
| $$Iμое1$$ | $$Фμое1$$ | $$Iμое2$$ | $$Фμое2$$ | $$Iμое3$$ | $$Фμое3$$ |
| 1 | $$Фμое1$$ | 20 | 22 | 0,2 | 0,5 | 0,85 | 1,1 | 1,9 | 1,35 |
| 2 | $$Фμое2$$ | 30 | 24 | 0,25 | 0,7 | 0,9 | 1,05 | 1,95 | 1,3 |
| 3 | $$Фμое3$$ | 40 | 26 | 0,3 | 0,9 | 0,95 | 1 | 2 | 1,25 |
| 4 | $$Фμое1$$ | 50 | 28 | 0,2 | 0,5 | 0,85 | 1,1 | 1,9 | 1,305 |
| 5 | $$Фμое2$$ | 60 | 32 | 0,205 | 0,705 | 0,95 | 1,05 | 1,95 | 1,31 |
| 6 | $$Фμое3$$ | 70 | 34 | 0,305 | 0,905 | 0,85 | 1 | 2 | 1,25 |
| 7 | $$Фμое1$$ | -20 | 36 | 0,205 | 0,505 | 0,75 | 1,1 | 1,9 | 1,35 |
| 8 | $$Фμое2$$ | -30 | 38 | 0,255 | 0,705 | 0,8 | 1,03 | 1,95 | 1,3 |
| 9 | $$Фμое3$$ | -40 | 22 | 0,2 | 0,5 | 0,85 | 1,1 | 1,9 | 1,35 |
| 10 | $$Фμое1$$ | -50 | 24 | 0,25 | 0,7 | 0,75 | 1,05 | 1,95 | 1,3 |
| 11 | $$Фμое2$$ | -60 | 26 | 0,3 | 0,9 | 0,8 | 1 | 2 | 1,25 |
| 12 | $$Фμое3$$ | -70 | 28 | 0,2 | 0,5 | 0,85 | 1,1 | 1,9 | 1,305 |
| 13 | $$Фμое1$$ | 20 | 32 | 0,205 | 0,705 | 0,9 | 1,05 | 1,95 | 1,31 |
| 14 | $$Фμое2$$ | 30 | 34 | 0,305 | 0,905 | 0,95 | 1 | 2 | 1,25 |
| 15 | $$Фμое3$$ | 40 | 36 | 0,205 | 0,505 | 0,85 | 1,1 | 1,9 | 1,35 |
| 16 | $$Фμое1$$ | 50 | 38 | 0,255 | 0,705 | 0,95 | 1,03 | 1,95 | 1,3 |
| 17 | $$Фμое2$$ | 60 | 22 | 0,2 | 0,5 | 0,85 | 1,1 | 1,9 | 1,35 |
| 18 | $$Фμое3$$ | 70 | 24 | 0,25 | 0,7 | 0,75 | 1,05 | 1,95 | 1,3 |
| 19 | $$Фμое1$$ | -20 | 26 | 0,3 | 0,9 | 0,8 | 1 | 2 | 1,25 |
| 20 | $$Фμое2$$ | -30 | 28 | 0,2 | 0,5 | 0,85 | 1,1 | 1,9 | 1,305 |
| 21 | $$Фμое3$$ | -40 | 32 | 0,205 | 0,705 | 0,75 | 1,05 | 1,95 | 1,31 |
| 22 | $$Фμое1$$ | -50 | 34 | 0,305 | 0,905 | 0,8 | 1 | 2 | 1,25 |
| 23 | $$Фμое2$$ | -60 | 36 | 0,205 | 0,505 | 0,85 | 1,1 | 1,9 | 1,35 |
| 24 | $$Фμое3$$ | -70 | 38 | 0,255 | 0,705 | 0,9 | 1,03 | 1,95 | 1,3 |
| 25 | $$Фμое1$$ | 20 | 22 | 0,2 | 0,5 | 0,95 | 1,1 | 1,9 | 1,35 |
| 26 | $$Фμое2$$ | 30 | 24 | 0,25 | 0,7 | 0,85 | 1,05 | 1,95 | 1,3 |
| 27 | $$Фμое3$$ | 40 | 26 | 0,3 | 0,9 | 0,95 | 1 | 2 | 1,25 |
| 28 | $$Фμое1$$ | 50 | 28 | 0,2 | 0,5 | 0,85 | 1,1 | 1,9 | 1,305 |
| 29 | $$Фμое2$$ | 60 | 32 | 0,205 | 0,705 | 0,75 | 1,05 | 1,95 | 1,31 |
| 30 | $$-Фμое3$$ | 70 | 34 | 0,305 | 0,905 | 0,8 | 1 | 2 | 1,25 |
| 31 | $$-Фμое1$$ | 20 | 36 | 0,205 | 0,505 | 0,85 | 1,1 | 1,9 | 1,35 |
| 32 | $$-Фμое2$$ | 30 | 38 | 0,255 | 0,705 | 0,75 | 1,03 | 1,95 | 1,3 |
| 33 | $$-Фμое3$$ | 40 | 22 | 0,2 | 0,5 | 0,8 | 1,1 | 1,9 | 1,35 |
| 34 | $$-Фμое1$$ | 50 | 24 | 0,25 | 0,7 | 0,85 | 1,05 | 1,95 | 1,3 |
| 35 | $$-Фμое2$$ | 60 | 26 | 0,3 | 0,9 | 0,9 | 1 | 2 | 1,25 |
| 36 | $$-Фμое3$$ | 70 | 28 | 0,2 | 0,5 | 0,95 | 1,1 | 1,9 | 1,305 |
| 37 | $$-Фμое1$$ | -20 | 32 | 0,205 | 0,705 | 0,85 | 1,05 | 1,95 | 1,31 |
| 38 | $$-Фμое2$$ | -30 | 34 | 0,305 | 0,905 | 0,95 | 1 | 2 | 1,25 |
| 39 | $$-Фμое3$$ | -40 | 36 | 0,205 | 0,505 | 0,85 | 1,1 | 1,9 | 1,35 |
| 40 | $$-Фμое1$$ | -50 | 38 | 0,255 | 0,705 | 0,75 | 1,03 | 1,95 | 1,3 |
| 41 | $$-Фμое2$$ | -60 | 22 | 0,2 | 0,5 | 0,8 | 1,1 | 1,9 | 1,35 |
| 42 | $$-Фμое3$$ | -70 | 24 | 0,25 | 0,7 | 0,85 | 1,05 | 1,95 | 1,3 |
| 43 | $$-Фμое1$$ | 20 | 26 | 0,3 | 0,9 | 0,75 | 1 | 2 | 1,25 |
| 44 | $$-Фμое2$$ | 30 | 28 | 0,2 | 0,5 | 0,8 | 1,1 | 1,9 | 1,305 |
| 45 | $$-Фμое3$$ | 40 | 32 | 0,205 | 0,705 | 0,85 | 1,05 | 1,95 | 1,31 |
| 46 | $$-Фμое1$$ | 50 | 34 | 0,305 | 0,905 | 0,9 | 1 | 2 | 1,25 |
| 47 | $$-Фμое2$$ | 60 | 36 | 0,205 | 0,505 | 0,95 | 1,1 | 1,9 | 1,35 |
| 48 | $$-Фμое3$$ | 70 | 38 | 0,255 | 0,705 | 0,85 | 1,03 | 1,95 | 1,3 |
| 49 | $$-Фμое1$$ | -20 | 22 | 0,2 | 0,5 | 0,95 | 1,1 | 1,9 | 1,35 |
| 50 | $$-Фμое2$$ | -30 | 24 | 0,25 | 0,7 | 0,85 | 1,05 | 1,95 | 1,3 |
| 51 | $$-Фμое3$$ | -40 | 26 | 0,3 | 0,9 | 0,75 | 1 | 2 | 1,25 |
| 52 | $$Фμое1$$ | 20 | 32 | 0,205 | 0,705 | 0,9 | 1,05 | 1,95 | 1,31 |
| 53 | $$Фμое2$$ | 30 | 34 | 0,305 | 0,905 | 0,95 | 1 | 2 | 1,25 |
| 54 | $$Фμое3$$ | 40 | 36 | 0,205 | 0,505 | 0,85 | 1,1 | 1,9 | 1,35 |
| 55 | $$Фμое1$$ | 50 | 38 | 0,255 | 0,705 | 0,95 | 1,03 | 1,95 | 1,3 |
| 56 | $$Фμое2$$ | 60 | 22 | 0,2 | 0,5 | 0,85 | 1,1 | 1,9 | 1,35 |
| 57 | $$Фμое3$$ | 70 | 24 | 0,25 | 0,7 | 0,75 | 1,05 | 1,95 | 1,3 |