

ПОКАЗАТЕЛИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

1. Экономический режим работы трансформаторов.
2. Распределение нагрузок между // работающими трансформаторами.

1. ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ

–определяется числом одновременно включенных трансформаторов, обеспечивающих минимум потерь в НИХ.

ПОНЯТИЕ–

Приведенные потери мощности (энергии) в трансформаторах

- потери активной мощности, возникающие в системе ЭСПП по всей цепочке питания от генераторов ЭС до рассматриваемых трансформаторов из-за потребления ими реактивной мощности.



$$\Delta P'_{\text{тр}} = \Delta P'_{\text{ХХ}} + k_{\text{загр}}^2 \cdot \Delta P'_{\text{КЗ}}$$

○ где:

$$\Delta P'_{\text{ХХ}} = \Delta P_{\text{ХХ}} + k_{\text{ЭК}} \cdot \Delta Q_{\text{ХХ}}$$

$$\Delta P'_{\text{КЗ}} = \Delta P_{\text{КЗ}} + k_{\text{ЭК}} \cdot \Delta Q_{\text{КЗ}}$$

$k_{\text{ЭК}}$

– экономический эквивалент реактивной мощности, коэффициент, который учитывает потери активной мощности в киловаттах, связанные с производством и распределением 1 кВАр реактивной мощности (размерность кВт/кВАр).

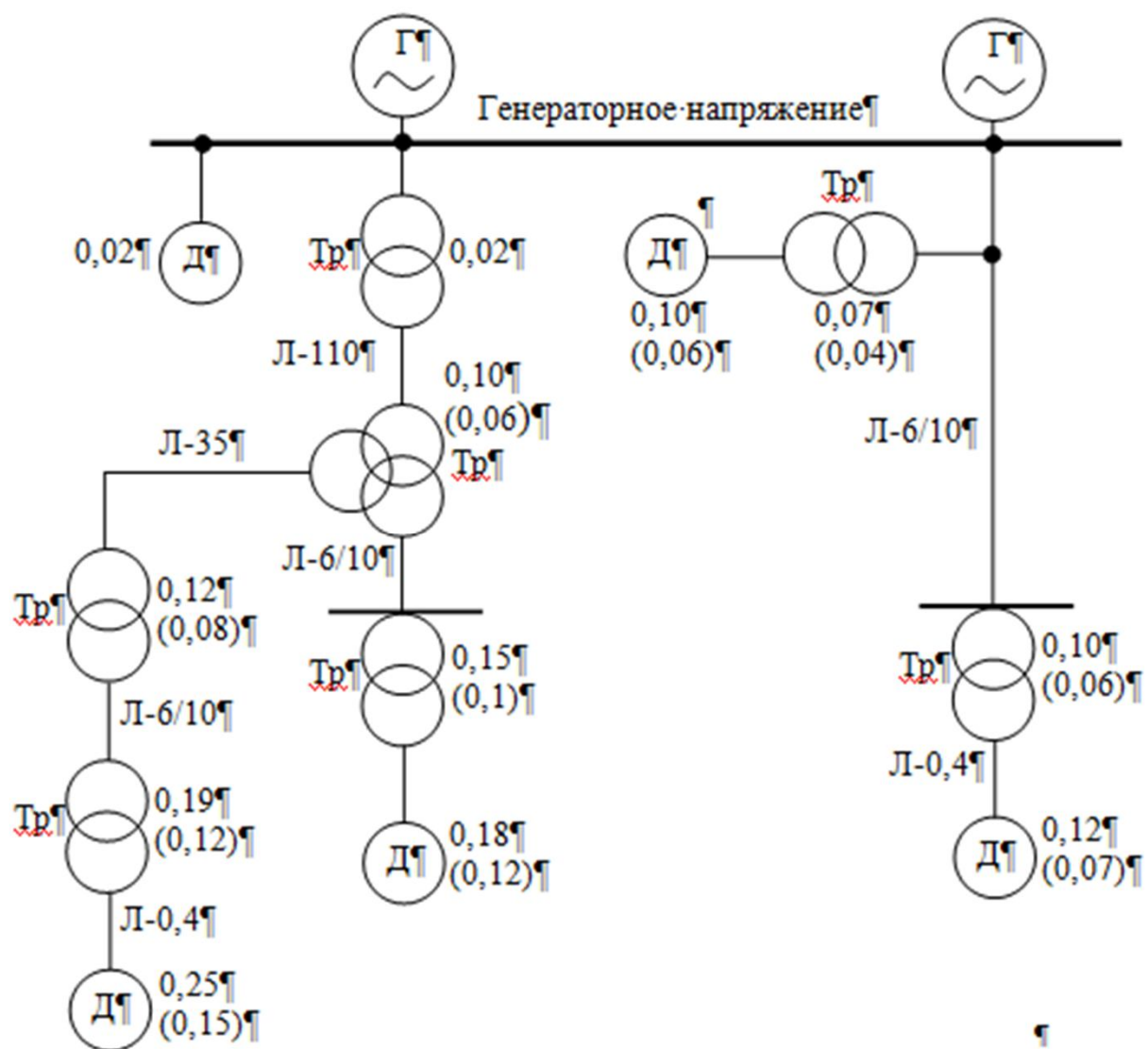
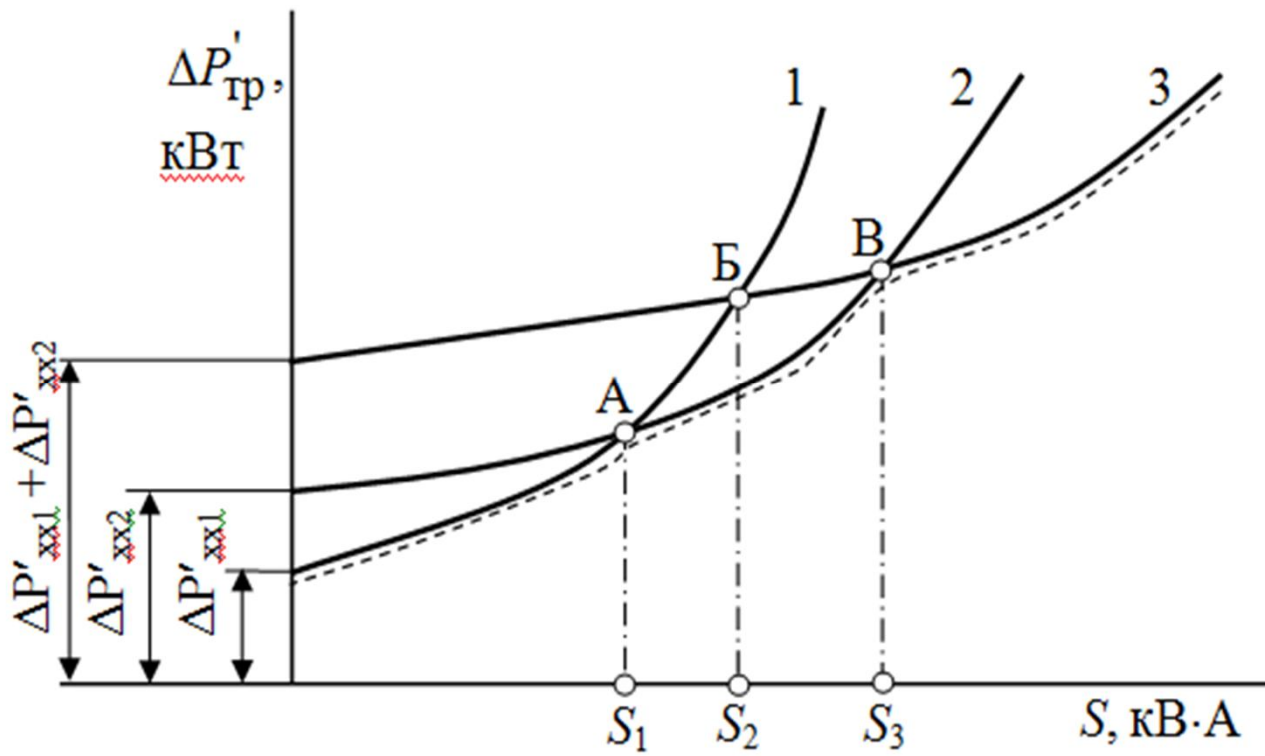


СХЕМА – ТАБЛИЦА ЗНАЧЕНИЙ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭКВИВАЛЕНТА
РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

В скобках даны значения в часы минимума нагрузки.

Автор_к.т.н., доцент ЭНИН Климова Г.Н.



КРИВЫЕ ПРИВЕДЕННЫХ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ

Приведенные потери активной мощности в силовых трансформаторах: 1 и 2 – кривые потерь активной мощности в трансформаторах 1 и 2 при раздельной их работе;

3 – кривая суммарных потерь активной мощности в трансформаторах 1 и 2 при их параллельной работе.

Автор: к.т.н., доцент ЭНИН Климова Г.Н.



ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ ОДИНАКОВОЙ МОЩНОСТИ

$$n \cdot (\Delta P_{\text{XX}} + k_{\text{ЭК}} \cdot \Delta Q_{\text{XX}}) + \frac{1}{n} \cdot (\Delta P_{\text{КЗ}} + k_{\text{ЭК}} \cdot \Delta Q_{\text{КЗ}}) \cdot \left(\frac{S}{S_{\text{НОМ.тр}}}\right)^2 =$$
$$= (n+1) \cdot (\Delta P_{\text{XX}} + k_{\text{ЭК}} \cdot \Delta Q_{\text{XX}}) + \frac{1}{n+1} \cdot (\Delta P_{\text{КЗ}} + k_{\text{ЭК}} \cdot \Delta Q_{\text{КЗ}}) \cdot \left(\frac{S}{S_{\text{НОМ.тр}}}\right)^2$$

- Нагрузка подстанции S , при которой экономически выгодно переходить с n трансформаторов на $n+1$, определяется из равенства потерь мощности при n и $n+1$ трансформаторах, что соответствует точке пересечения кривых приведенных потерь

- подключение $(n+1)$ трансформатора целесообразно, когда выполняется условие

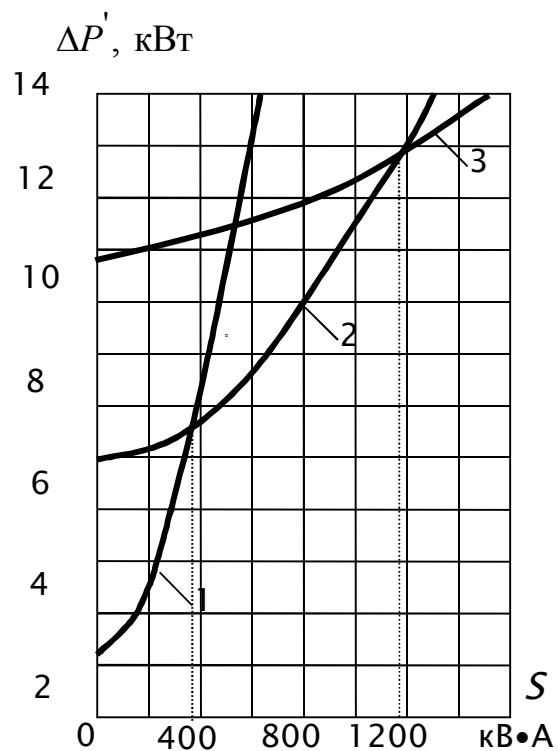
$$S \geq S_{\text{ном.тр}} \sqrt{n \cdot (n + 1) \cdot \frac{\Delta P_{\text{ХХ}} + k_{\text{ЭК}} \cdot \Delta Q_{\text{ХХ}}}{\Delta P_{\text{КЗ}} + k_{\text{ЭК}} \cdot \Delta Q_{\text{КЗ}}}}$$

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ РАЗНОЙ МОЩНОСТИ

- При параллельной работе приведенные потери мощности для построения кривых определяются по выражению

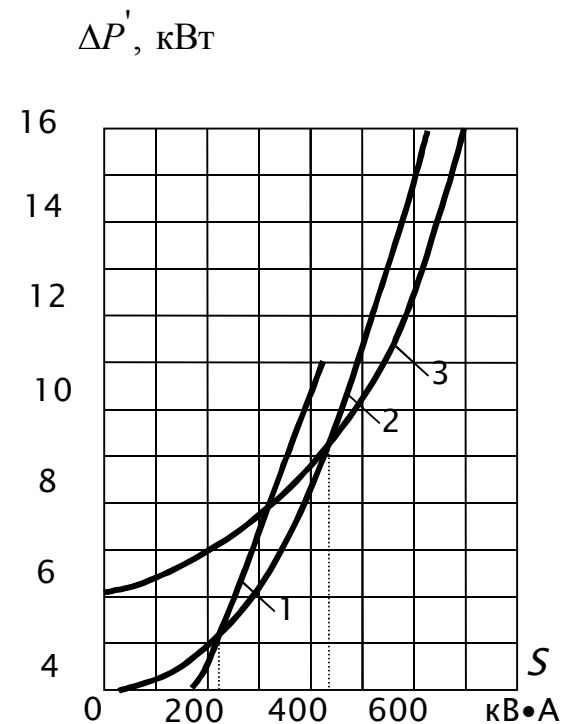
$$\sum \Delta P = n \cdot (\Delta P_{\text{ХХ}} + k_{\text{Э}} \cdot \Delta Q_{\text{ХХ}}) + \frac{1}{n} \cdot (\Delta P_{\text{КЗ}} + k_{\text{Э}} \cdot \Delta Q_{\text{КЗ}}) \cdot k_3^2$$

Переменная
величина



Приведенные потери для определения экономически целесообразного режима работы трансформаторов 630 кВ·А, 10кВ

1 – изолированная работа трансформатора; 2 – параллельная работа двух трансформаторов; 3 – параллельная работа трех трансформаторов.



Приведенные потери для определения экономически целесообразного режима работы трансформаторов 400 и 630 кВ·А, 10кВ

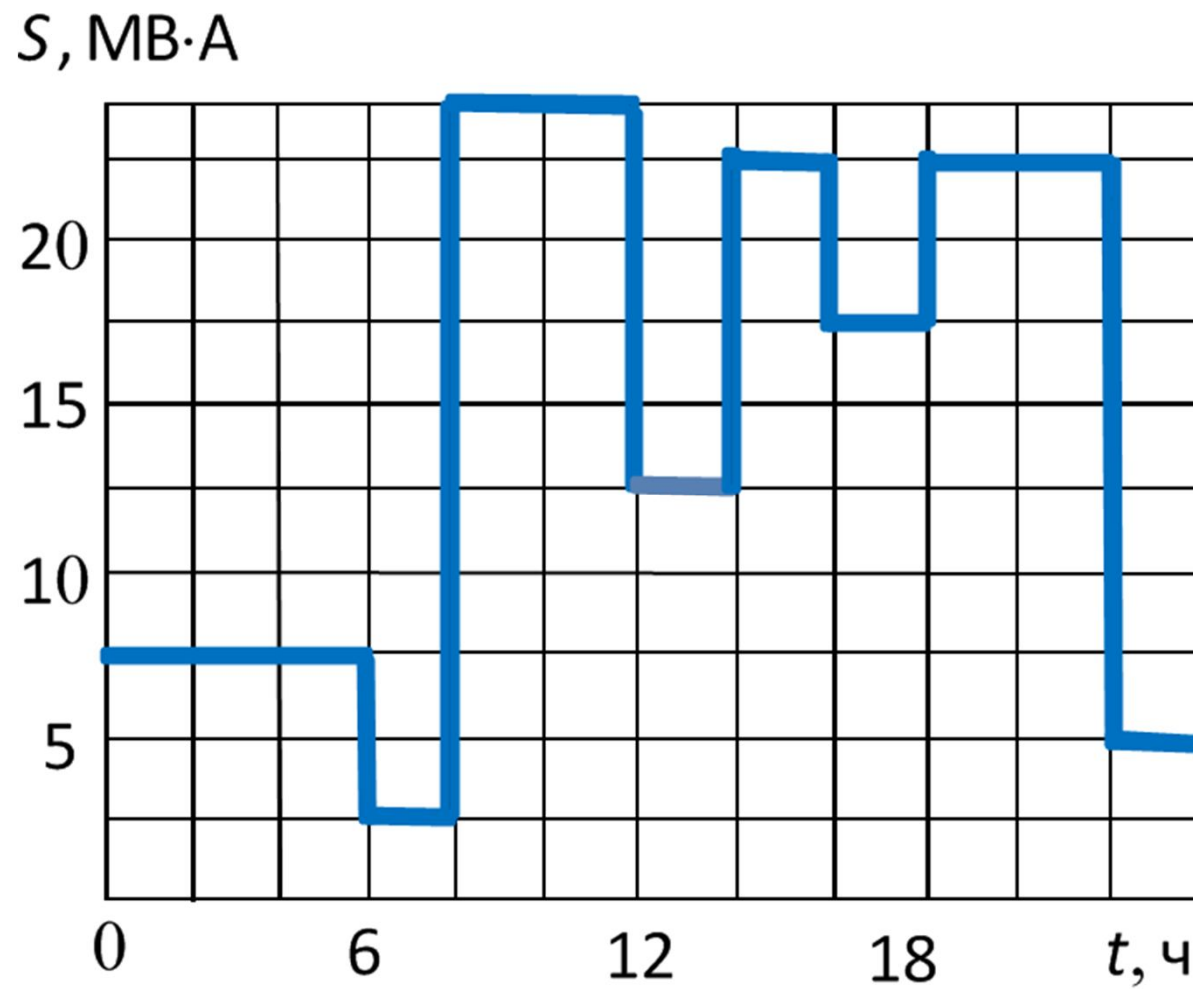
1 – изолированная работа трансформатора 400кВ·А; 2 – изолированная работа трансформатора 630кВ·А; 3 – параллельная работа трансформаторов 400 и 630кВ·А.

ПРИМЕР

- Определить экономически целесообразный режим работы трансформаторов.
- Технические данные трансформаторов 35/6 кВ:
- $S_{ном} = 16000 \text{ кВ}\cdot\text{А}$;
- $\Delta P_{хх} = 21 \text{ кВт}$;
- $\Delta P_{кз} = 85 \text{ кВт}$;
- $I_{хх} = 0,85 \%$;
- $U_{кз} = 10,5\%$;



ХАРАКТЕРНЫЙ СУТОЧНЫЙ ГРАФИК НАГРУЗКИ



РЕШЕНИЕ

- Принимаем $kэ = 0,05$ кВт/кВар.
- 1. $\Delta Q_{XX} = S_{\text{НОМ.ТР}} \cdot \frac{I_{XX}}{100} = 16000 \cdot \frac{0,85}{100} = 136$ кВар
- 2. $\Delta Q_{K3} = S_{\text{НОМ.ТР}} \cdot \frac{U_{K3}}{100} = 16000 \cdot \frac{10,5}{100} = 1680$ кВар



- 3. Приведенные потери мощности ХХ, кВт

$$\Delta P'_{\text{ХХ}} = \Delta P_{\text{ХХ}} + k_{\text{э}} \cdot \Delta Q_{\text{ХХ}} = 21 + 0,05 \cdot 136 = 28$$

- 4. Приведенные потери мощности КЗ, кВт

$$\Delta P'_{\text{КЗ}} = \Delta P_{\text{КЗ}} + k_{\text{э}} \cdot \Delta Q_{\text{КЗ}} = 85 + 0,05 \cdot 1680 = 169$$



- 5. Приведенные потери мощности в одном трансформаторе, кВт:

$$\Delta P'_{16000} = \Delta P'_{\text{хх}} + k_{\text{загр}}^2 \cdot \Delta P'_{\text{кз}} = 28 + k_{\text{загр}}^2 \cdot 169$$



- 6. Суммарные приведенные потери мощности в двух отдельно работающих трансформаторах

$$\begin{aligned}\Delta P'_{2 \cdot 16000} &= 2 \cdot \Delta P'_{\text{ХХ}} + 2 \cdot k_{\text{загр}0,5}^2 \cdot \Delta P'_{\text{КЗ}} = 2 \cdot 28 + 2 \cdot k_{\text{загр}0,5}^2 \cdot 169 = \\ &= 56 + k_{\text{загр}0,5}^2 \cdot 338 \text{ кВт.}\end{aligned}$$

$k_{\text{загр}0,5}$

новый коэффициент загрузки за счет деления нагрузки пополам между двумя одинаковыми трансформаторами.

7. НАГРУЗКА, ПРИ КОТОРОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНО ПЕРЕХОДИТЬ НА РАБОТУ С ДВУМЯ ТРАНСФОРМАТОРАМИ, КВА:

$$S_A = S_{\text{НОМ.тр}} \cdot \sqrt{n \cdot (n + 1) \cdot \frac{\Delta P'_{\text{XX}}}{\Delta P'_{\text{КЗ}}}} = 16000 \cdot \sqrt{1 \cdot (1 + 1) \cdot \frac{28}{169}} = 9210$$

- 8. Потребление ЭЭ за год
(находим по графику нагрузки):

$$W_{\text{год}} = \sum_{i=1}^7 P_i \cdot t_i = 129575 \text{ млн. кВтч}$$

- 9. Число часов использования максимума нагрузки:

$$T_{\text{max}} = \frac{W_{\text{год}}}{P_{\text{max}}} = 5183 \text{ ч}$$

- 10. Число часов максимальных потерь

$$\tau_{\max} = (0,124 + T_{\max} / 10000)^2 \cdot 8760 = 3614 \text{ ч}$$

- 11. Распределение числа часов максимальных потерь пропорционально продолжительности ступеней графика нагрузки (пример для ступени №1) определяем через пропорцию

$$T_{\text{год}} \rightarrow \tau_{\max}$$

$$T_i \rightarrow \tau_i = x$$

$$\tau_1 = \frac{\tau_{\max} \cdot T_1}{T_{\text{год}}} = \frac{3614 \cdot 730}{8760} = 301 \text{ ч}$$

Годовые потери мощности и электроэнергии

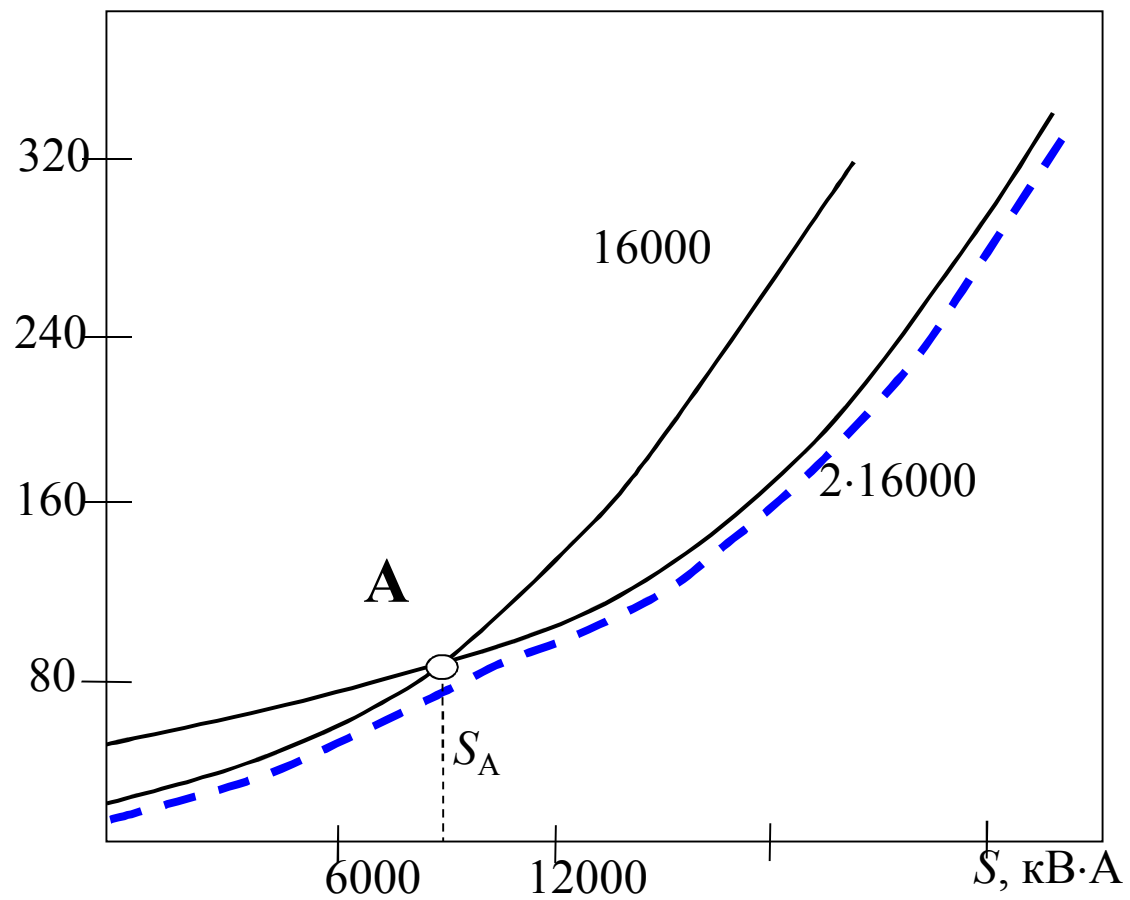
№	Нагрузка кВ·А	$K_{загр}$	$K_{загр0,5}$	T, час	τ , час	$\Delta P'$, кВт	$\Delta P''$, кВт	$\Delta W'$, тыс. кВтч	$\Delta W''$, тыс. кВтч
1	2500	0,156	0	730	301	32,1	56	21678	40880
2	5000	0,313	0,156	730	301	44,6	64,2	25424	43356
3	7500	0,469	0,234	2190	904	65,2	74,5	94925	139371
4	12500	0,781	0,390	730	301	131,1	107,4	51468	56354
5	17500	1,094	0,547	730	301	230,3	157,1	81322	71321
6	22500	1,4	0,703	2190	904	359,2	223	360761	273647
7	25000	1,562	0,781	1460	602	440,3	262,2	289105	205872

Суммарные потери энергии в экономическом режиме

работы трансформаторов – 744,334 млн. кВтч (или 0,6% от потребления ЭЭ)

ГРАФИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ

$\Delta P, \text{кВт}$



Автор к.т.н., доцент ЭНИН Климова
Г.Н.





2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК МЕЖДУ ПАРАЛЛЕЛЬНО РАБОТАЮЩИМИ ТРАНСФОРМАТОРАМИ

Автор_к.т.н., доцент ЭНИН Климова Г.Н.

1. Условия параллельной работы трансформаторов (ПТЭ)

1. Одинаковые группы соединения обмоток,
2. Соотношение мощностей трансформаторов не более 1:3,
3. Коэффициенты трансформации отличаются не более чем на $\pm 0,5\%$,
4. Напряжения короткого замыкания отличаются не более чем на $\pm 10\%$,
 - Для выравнивания нагрузки между параллельно работающими трансформаторами с отличными напряжениями КЗ допускается в небольших пределах изменение коэффициента трансформации путем переключения ответвлений при условии, что ни один из трансформаторов не будет перегружен.

НАРУШЕНИЕ УСЛОВИЙ:

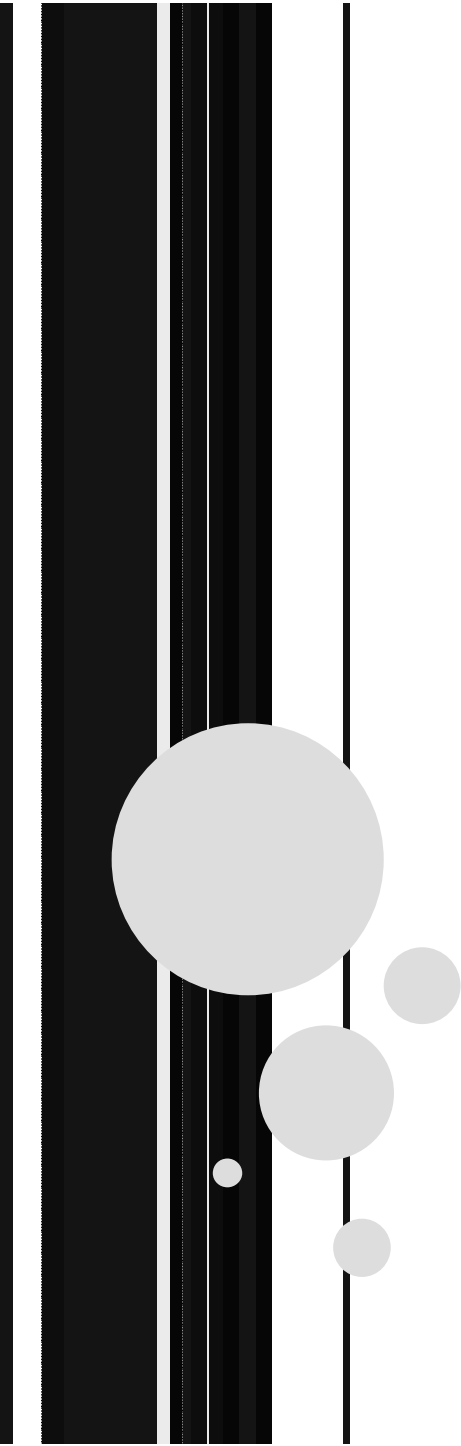
- Нарушение первого и третьего условий вызывает появление больших уравнительных токов между обмотками трансформаторов, которые приводят к быстрому чрезмерному их нагреву.
- Нарушение четвертого условия вызывает перегрузку тех трансформаторов, у которых напряжение короткого замыкания имеет меньшее значение.



УРАВНИТЕЛЬНЫЕ ТОКИ

- Уравнительные токи протекая между обмотками параллельно работающих трансформаторов вызывают циркуляцию мощности от одного трансформатора к другому, следовательно неравномерную нагрузку трансформаторов, сопровождающуюся увеличением потерь мощности и нагрева.





**НАГРУЗКА МЕЖДУ ПАРАЛЛЕЛЬНО РАБОТАЮЩИМИ
ТРАНСФОРМАТОРАМИ РАСПРЕДЕЛЯЕТСЯ
ПРОПОРЦИОНАЛЬНО ИХ МОЩНОСТЯМ И ОБРАТНО
ПРОПОРЦИОНАЛЬНО НАПРЯЖЕНИЯМ КОРОТКОГО
ЗАМЫКАНИЯ**

$$U'_{кз1} = U_{кз1} \cdot \frac{S_{ном.тр1}}{S_{ном.тр1}};$$

$$U'_{кз2} = U_{кз2} \cdot \frac{S_{ном.тр1}}{S_{ном.тр2}};$$

$$U'_{кзн} = U_{кзн} \cdot \frac{S_{ном.тр1}}{S_{ном.трn}}.$$

напряжения короткого замыкания всех параллельно работающих трансформаторов должны быть приведены к одной мощности, например, к мощности первого трансформатора

Нагрузка каждого //
работающего
трансформатора

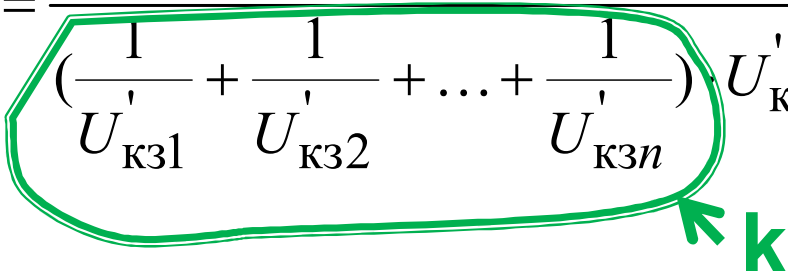
$$S_1 = \lambda_1 \cdot S$$

$$S_2 = \lambda_2 \cdot S$$

$$S_n = \lambda_n \cdot S$$

S – суммарная нагрузка
подстанции

Коэффициенты загрузки
трансформаторов –
 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_n$

$$\lambda_1 = \frac{1}{\left(\frac{1}{U'_{к31}} + \frac{1}{U'_{к32}} + \dots + \frac{1}{U'_{к3n}}\right) \cdot U'_{к31}}$$


$$\lambda_1 = \frac{1}{k \cdot U'_{к31}}$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{k \cdot U'_{к32}}$$

$$\lambda_n = \frac{1}{k \cdot U'_{к3n}}$$

Коэффициенты загрузки трансформаторов – λ_1 , λ_2
при их // работе

$$\lambda_1 = \frac{U'_{K32}}{U'_{K31} + U'_{K32}}$$

$$\lambda_2 = \frac{U'_{K31}}{U'_{K31} + U'_{K32}}$$

- Некоторое перераспределение нагрузки между параллельно работающими трансформаторами с различными напряжениями короткого замыкания осуществляют изменением их коэффициентов трансформации путем переключения ответвлений первичных обмоток. Переключение необходимо выполнять так, чтобы у недогруженных трансформаторов вторичное напряжение при холостом ходе было выше, чем у трансформаторов, работающих с перегрузкой. В виде исключения допустима параллельная работа трансформаторов с разными коэффициентами трансформации и неодинаковыми напряжениями короткого замыкания при непременном условии, чтобы ни один из трансформаторов не был перегружен сверх установленных норм.



ПРИМЕР

Наилучшее использование установленной мощности трансформаторов может быть только при равенстве напряжений КЗ. Однако в эксплуатации допускается включение на параллельную работу трансформаторов с отклонением напряжений КЗ от их среднего значения, но не более чем на $\pm 10\%$. Это допущение связано с возможным отступлением (в пределах производственных допусков) при изготовлении трансформаторов в размерах обмоток, влияющий на U_K .

Не рекомендуется включение на параллельную работу трансформаторов с отношением номинальных мощностей более трех. Объясняется это тем, что даже при небольших эксплуатационных перегрузках трансформатора меньшей мощности может оказаться сильно перегруженным в процентном отношении и, особенно в том случае, если он имеет меньшее U_K .

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

- Параллельно работают три трансформатора со следующими характеристиками

$$S_{\text{ном.тр1}} = 25 \text{ МВ} \cdot \text{А}; U_{\text{кз1}} = 10,5\%;$$

$$S_{\text{ном.тр2}} = 32 \text{ МВ} \cdot \text{А}; U_{\text{кз2}} = 10,5\%;$$

$$S_{\text{ном.тр3}} = 40 \text{ МВ} \cdot \text{А}; U_{\text{кз3}} = 10,41\%.$$

Нагрузка подстанции составляет $S = 75 \text{ МВА}$.

Определить нагрузку каждого трансформатора.

РЕШЕНИЕ

- Приведение напряжения короткого замыкания к мощности первого трансформатора $S_{\text{НОМ.тр1}}$

$$U'_{\text{кз1}} = U_{\text{кз1}} \cdot \frac{S_{\text{НОМ.тр1}}}{S_{\text{НОМ.тр1}}} = 10,5 \cdot \frac{25}{25} = 10,5\%;$$

$$U'_{\text{кз2}} = U_{\text{кз2}} \cdot \frac{S_{\text{НОМ.тр1}}}{S_{\text{НОМ.тр2}}} = 10,5 \cdot \frac{25}{32} = 8,35\%;$$

$$U'_{\text{кз3}} = U_{\text{кз3}} \cdot \frac{S_{\text{НОМ.тр1}}}{S_{\text{НОМ.тр3}}} = 10,41 \cdot \frac{25}{40} = 6,52\%.$$



- Коэффициент k равен

$$k = \frac{1}{U'_{к31}} + \frac{1}{U'_{к32}} + \frac{1}{U'_{к33}} = \frac{1}{10,5} + \frac{1}{8,35} + \frac{1}{6,52} = 0,368.$$



КОЭФФИЦИЕНТЫ ЗАГРУЗКИ

$$\lambda_1 = \frac{1}{k \cdot U'_{к31}} = \frac{1}{0,368 \cdot 10,5} = 0,259;$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{k \cdot U'_{к32}} = \frac{1}{0,368 \cdot 8,35} = 0,325;$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{k \cdot U'_{к33}} = \frac{1}{0,368 \cdot 6,52} = 0,416.$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ КАЖДОГО ТРАНСФОРМАТОРА

$$S_1 = \lambda_1 \cdot S = 0,259 \cdot 75 = 19,4 \text{ МВ} \cdot \text{А};$$

$$S_2 = \lambda_2 \cdot S = 0,325 \cdot 75 = 24,4 \text{ МВ} \cdot \text{А};$$

$$S_3 = \lambda_3 \cdot S = 0,416 \cdot 75 = 31,2 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

ПРИМЕР

При включении на параллельную работу трансформаторов с различными коэффициентами трансформации напряжения на зажимах их вторичных обмоток будут различными. Разность вторичных напряжений вызывает прохождение уравнивающих токов.

Уравнивающие токи, загружая обмотки трансформаторов, увеличивают потери энергии и снижают суммарную мощность подстанции, поэтому прохождение их недопустимо. Согласно ГОСТа у трансформаторов, включаемых на параллельную работу, коэффициенты трансформации не должны отличаться более чем на $\pm 0,5\%$.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

- Два трансформатора с разными значениями вторичных напряжений включаются на параллельную работу.

Трансформаторы имеют следующие технические данные: $S_1 = S_2 = 40 \text{ МВ} \cdot \text{А}$;
 $U_1 = 10,5 \text{ кВ}$; $U_2 = 10 \text{ кВ}$, $U_{к1} = U_{к2} = 8,5 \%$;
группы соединений обмоток $У/Д-11$.
Определить уравнивающий ток после включения трансформаторов на параллельную работу.

РЕШЕНИЕ

1. Находим номинальные токи трансформаторов

- $I_1 = (40 \cdot 10^6) / (\sqrt{3} \cdot 10500) = 2202 \text{ A};$
- $I_2 = (40 \cdot 10^6) / (\sqrt{3} \cdot 10000) = 2312 \text{ A}.$



2. Полные сопротивления короткого замыкания

$$Z_K = (U_{K3\%} U_{НОМ}) / 100 I_{НОМ.}$$

- $Z_{K1} = (8,5 \cdot 10500) / (100 \cdot 2202) = 0,405 \text{ Ом};$
- $Z_{K2} = (8,5 \cdot 10000) / (100 \cdot 2312) = 0,367 \text{ Ом}.$

3. Разность вторичных напряжений

$$\Delta U = 10500 - 10000 = 500$$

4. Уравнительный ток

$$I_y = \Delta U / (Z_{K1} + Z_{K2})$$

$$I_y = 500 / (0,405 + 0,367) = 647,6 \text{ А}.$$

ПРИМЕР

Параллельная работа трансформаторов, принадлежащих к разным группам соединений, невозможна по той причине, что между их вторичными обмотками возникает напряжение, обусловленное углом сдвига ϕ между векторами вторичных напряжений.

- Уравнительный ток I_{y2} определяется по формуле
- $$I_{y2} = 200 \sin(\phi / 2) / (U_{K1} / I_{\text{НОМ1}} + U_{K2} / I_{\text{НОМ2}})$$
- где ϕ — угол сдвига векторных вторичных напряжений трансформаторов;
 $I_{\text{НОМ1}}$ и $I_{\text{НОМ2}}$ — номинальные токи первого и второго трансформаторов.



ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

- Определить уравнивающий ток, предположив, что на параллельную работу были ошибочно включены два трансформатора, имеющих одинаковые технические данные ($I_{\text{ном}1} = I_{\text{ном}2} = I_{\text{ном}}$; $U_{\text{к}1} = U_{\text{к}2} = U_{\text{к}}$), при наличии сдвига векторов линейных напряжений вторичных обмоток на угол 60° (например, при группах соединений $Y/D-11$ и $Y/D-1$).



РЕШЕНИЕ

- Уравнительный ток
- $I_{y2} = (200 \cdot 0,5) / (2 U_K / I_{НОМ}) = (50 / U_K) \cdot I_{НОМ}$.
- Если предположить, что $U_K = 7,5$, то уравнительный ток достигнет почти семикратного номинального значения. Поэтому параллельная работа трансформаторов с разными группами соединений обмоток невозможна.



Автор_к.т.н., доцент ЭНИН Климова Г.Н.



ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ

- Для создания трансформаторов необходимо было изучение свойств материалов: неметаллических, металлических и магнитных, создания их теории:

1. **Александр Григорьевич Столетов**, профессор Московского Университета, обнаружил петлю гистерезиса и доменную структуру ферромагнетика (80–е).
2. **Братья Гопкинсоны** разработали теорию электромагнитных цепей.



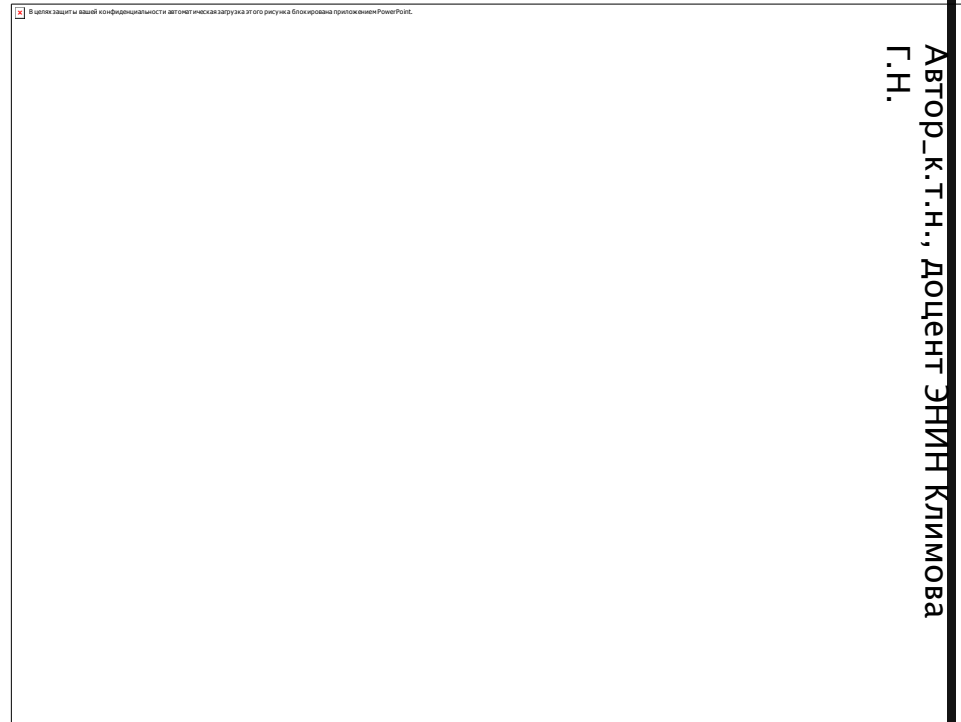
3. В 1831 году английским физиком **Майклом Фарадеем** было открыто явление электромагнитной индукции, лежащее в основе действия электрического трансформатора, при проведении им основополагающих исследований в области электричества.
4. Схематичное изображение будущего трансформатора впервые появилось в 1831 году в работах **Фарадея** и **Генри**. Однако ни тот, ни другой не отмечали в своём приборе такого свойства трансформатора, как изменение напряжений и токов, то есть трансформирование переменного тока.

ОБОЗНАЧЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Условные графические обозначения трансформаторов: однофазного (1, 2, 3) и трехфазного (4, 5, 6)



Устройство однофазного трансформатора с сердечником из электротехнической стали



Автор_к.т.н., доцент ЭНИН Климова Г.Н.



5. В 1848 году французский механик **Г. Румкорф** изобрёл индукционную катушку. Она явилась прообразом трансформатора.

6. **30 ноября 1876 года**, дата получения патента **Яблочковым Павлом Николаевичем**, считается датой рождения первого трансформатора. Это был трансформатор с разомкнутым сердечником, представлявшим собой стержень, на который наматывались обмотки.



7. Русский электротехник, создатель техники трехфазного тока **М. Доливо–Добровольский** в 1890 г. предлагает конструкцию трехфазного трансформатора, который в трехфазной сети позволит заменить три однофазных агрегата.

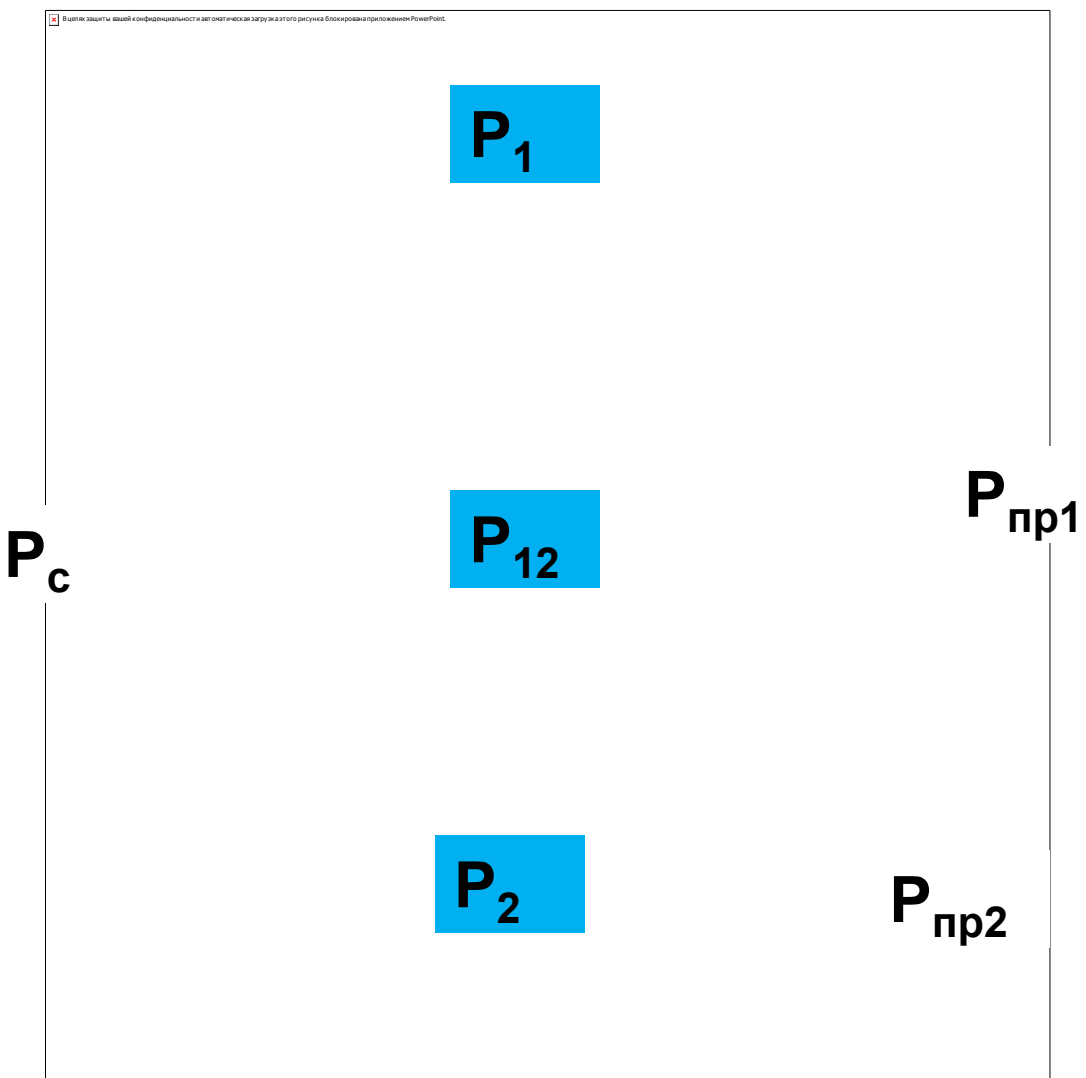
8. Впоследствии значительную роль в совершенствовании и развитии конструкции трехфазных трансформаторов сыграли англичанин **Ферранти**, американец **Дж. Вестингауз**, серб **Н. Тесла**.



Автор_к.т.н., доцент ЭНИН Климова
Г.Н.



ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ДИАГРАММА ТРАНСФОРМАТОРА



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

- К первичной обмотке подводится мощность
$$P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi .$$
- Часть ее $P_{\text{пр}1} = I_1^2 r_1$ затрачивается на нагревание проводников первичной обмотки.
- В сердечнике трансформатора возникают потери энергии на гистерезис и вихревые токи, на что затрачивается мощность P_c .
- При помощи магнитного потока во вторичную обмотку передается мощность
 - $P_{12} = P_1 - P_{\text{пр}1} - P_c .$



- Но во вторичной обмотке энергия также теряется на нагревание проводов, на что затрачивается еще некоторая мощность

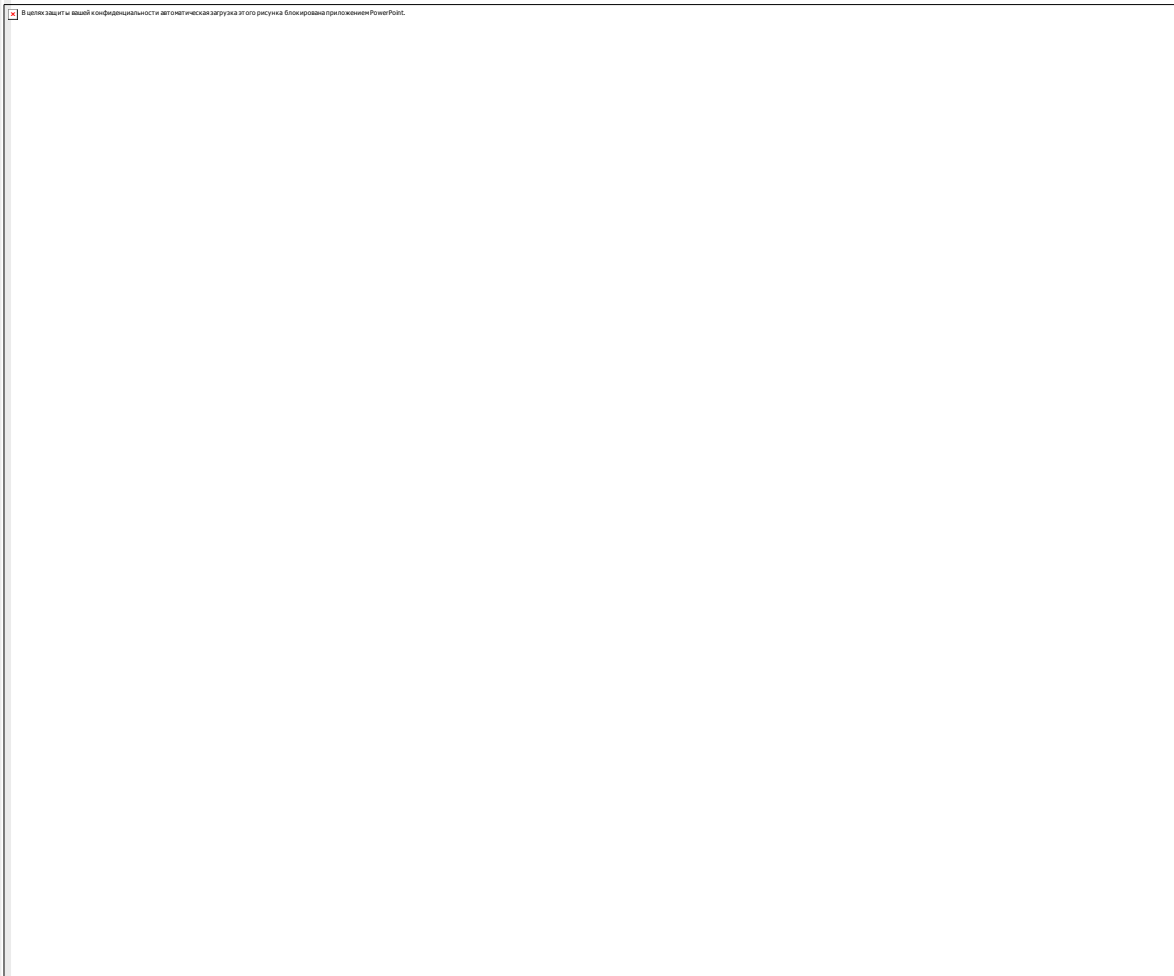
- $P_{\text{пр2}} = I_2^2 r_2.$

- Таким образом, во вторичную цепь передается мощность

- $P_2 = P_1 - P_{\text{пр1}} - P_c - P_{\text{пр2}} =$
 $= U_1 I_1 \cos \varphi_1 - I_1^2 r_1 - P_c - I_2^2 r_2.$



ТРЕХФАЗНЫЙ МАСЛЯНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР С ТРУБЧАТЫМ БАКОМ В ЧАСТИЧНОМ РАЗРЕЗЕ



- 1 — катки, 2 — спускной кран для масла, 3 — изолирующий цилиндр, 4 — обмотка высшего напряжения, 5 — обмотка низшего напряжения, 6 — сердечник. 7 — термометр, 8, 9 — выводы низшего напряжения, 10 — выводы обмотки высшего напряжения, 11 — расширитель для масла, 12 — указатель уровня масла, 13 — радиаторы.

Автор: к.т.н., доцент ЭНИН Климова Г.Н.

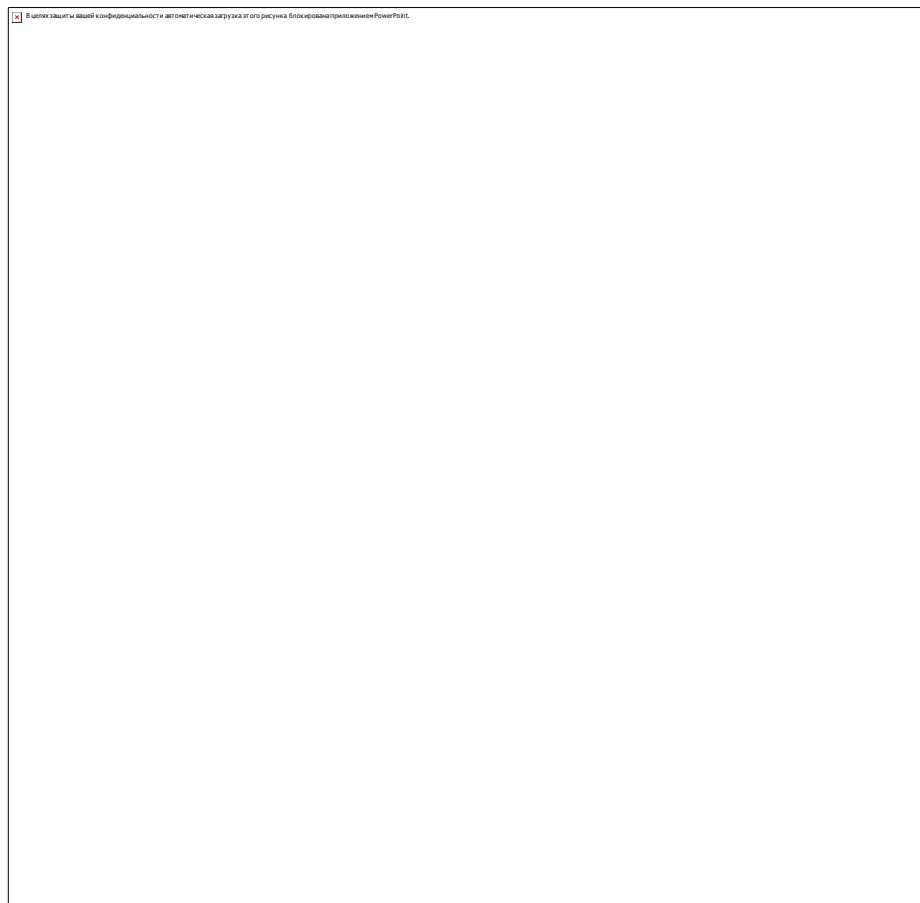


ГРУППЫ СОЕДИНЕНИЯ ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРОВ

- Обозначение групп соединений основано на сопоставлении относительного положения векторов высшего и низшего линейных напряжений с положением минутной и часовой стрелок.
- Для сопоставления минутная стрелка мыслится установленной на цифре 12 и с ней совмещается вектор линейного высшего напряжения, а часовая стрелка совмещается с вектором линейного низшего напряжения.
- Угол 30° , равный центральному углу между двумя соседними цифрами часового циферблата, служит единицей при отсчете угла сдвига фаз. Отсчет угла производится от минутной к часовой стрелке по направлению их вращения.
- Наименование группы соединений определяется на основании положения часовой стрелки.



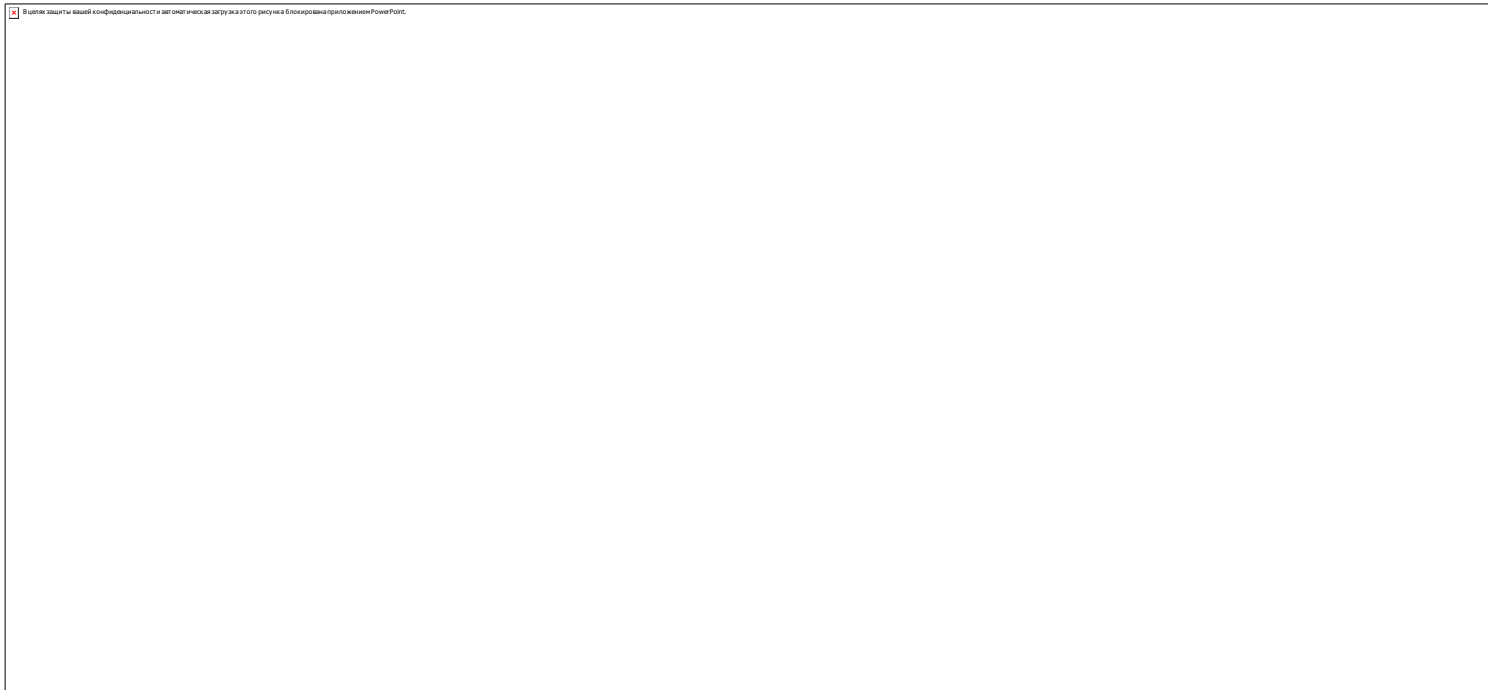
СХЕМА ОТНОСИТЕЛЬНОГО НАПРАВЛЕНИЯ ТОКОВ В ОБМОТКАХ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА



Автор_к.т.н., доцент ЭНИН Климова
Г.Н.



СХЕМЫ ГРУППЫ СОЕДИНЕНИЙ 11 и ВЕКТОРНАЯ ДИАГРАММА НАПРЯЖЕНИЙ ДЛЯ ЭТОЙ ГРУППЫ



Автор_к.т.н., доцент ЭНИН Климова
Г.Н.



- Согласно ГОСТу для однофазных трансформаторов установлена одна стандартная группа соединений — 0.
- У трехфазных трансформаторов возможны все двенадцать различных групп соединений, но желательно иметь минимальное число различных групп, поэтому для трехфазных трансформаторов установлены только две стандартные группы: 11 и 0.



- Группе 11 соответствуют два способа соединения: звезда/треугольник (Y/Δ) и звезда с выведенной нейтральной точкой/треугольник (Y/Δ).
- Группе 0 соответствует один способ соединения: звезда/звезда с выведенной нейтральной точкой (Y/Y). Специальный знак (Y) во втором и в третьем случаях показывает, что при данном соединении обмоток нейтральная точка имеет вывод. В числителе обозначения всегда указывается способ соединения обмотки высшего напряжения.



- Группа 0— Y/Y применяется для трансформаторов с высшим напряжением до 35 кВ включительно при низшем напряжении 230 В и мощности до 560 кВ · А или при том же пределе высшего напряжения с низшим напряжением 400 В и мощностью до 1800 кВ А. Оба способа соединения по группе 11 предназначены для более мощных трансформаторов и более высоких напряжений.

