

АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧНОЙ РАБОТЫ ТРЕХ ПАРАЛЛЕЛЬНО ВКЛЮЧЕННЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Плотников С.М., Колмаков О.В.

Красноярский институт железнодорожного транспорта, г. Красноярск

Ключевые слова: Трансформатор, потери холостого хода, потери короткого замыкания.

Аннотация. Представлен график включения на параллельную работу трех трансформаторов разных мощностей, обеспечивающий максимальный КПД системы.

ANALYSIS OF ECONOMIC WORK THREE PARALLEL INCLUDED TRANSFORMERS

Plotnikov S.M., Kolmakov V.O.

Krasnoyarsk institute of railway transport, Krasnoyarsk

Keywords: transformer, open circuit loss, short circuit loss, efficiency.

Abstract. A graph of the inclusion in parallel operation of three transformers of different capacities is presented, which ensures the maximum efficiency of the system.

Основное преимущество параллельной работы трансформаторов - возможность снижения потерь в них при изменении нагрузки. Наиболее эффективный способ снижения потерь в трансформаторах - включение их на параллельную работу.

С возрастанием мощности трансформаторов повторяются аналогичные значения мощностей, но на порядок больше. Согласно [1], трансформаторы, за исключением специальных и предназначенных для экспорта, сконструированы так, что мощность $(i+1)$ -го трансформатора превышает мощность i -го трансформатора в 1,56...1,60 раз. Фрагмент ряда номинальных мощностей трансформаторов (без учета специальных и предназначенных для экспорта) и соотношений смежных мощностей представлен в таблице 1.

Табл. 1. Фрагмент паспортных мощностей и соотношений смежных мощностей трансформаторов

S_i , кВА	25	40	63	100	160	250	400
S_{i+1} / S_i	1,60	1,58	1,58	1,60	1,56	1,60	

Округляем данные соотношения до 1,6. При этом погрешность округления составляет не более 2,3%.

При параллельной работе двух трансформаторов в рекомендуется выбирать их мощность в соотношении, не превышающем 1:3 [2], иначе более мощный трансформатор увеличивает нагрузку на менее мощные из-за разницы их сопротивлений короткого замыкания. Однако на практике возможны только два варианта выполнения этого условия: $1 : 1,6$ и $1 : (1,6)^2 = 2,56$.

Чем больше трансформаторов включено на параллельную работу, тем больше возможно количество ступеней суммарной нагрузки, тем точнее можно

поддерживать их режим близком к оптимальному, когда потери на трансформаторах минимальны. Рассмотрим возможность наиболее экономичной работы трех параллельно включенных трансформаторов трех смежных мощностей из ряда таблицы 1. Любое другое сочетание мощностей трех трансформаторов будет противоречить условию параллельной работы, ограничивающему соотношения мощностей.

По мере увеличения потребляемой мощности производится переключение на более мощный трансформатор или включение нескольких трансформаторов на параллельную работу. Граничная мощность $S_{гр1}$, при которой должно осуществляться переключение с первого трансформатора на второй определяется из равенства потерь первого и второго трансформаторов

$$P_{01} + P_{к1} \left(\frac{S_{гр1}}{S_{н1}} \right)^2 = P_{02} + P_{к2} \left(\frac{S_{гр1}}{S_{н2}} \right)^2, \tag{1}$$

где $S_{н1}$ и $S_{н2}$ – номинальные мощности соответственно первого и второго трансформатора; P_{02} и P_{01} – потери холостого хода соответственно первого и второго трансформатора; $P_{к2}$ и $P_{к1}$ – потери короткого замыкания соответственно первого и второго трансформатора;

Из уравнения (1) получим выражение первой граничной мощности

$$S_{гр1} = \sqrt{\frac{P_{02} - P_{01}}{\frac{P_{к1}}{S_{н1}^2} - \frac{P_{к2}}{S_{н2}^2}}}. \tag{2}$$

Аналогично находятся другие граничные мощности. В таблице 2 представлены относительные мощности трансформаторов, их суммарная мощность при работе в различных сочетаниях и граничные мощности нагрузки, при которых следует производить переключения трансформаторов для их работы с максимальным КПД. За единицу относительной мощности принята номинальная мощность наименее мощного трансформатора.

Табл. 2. Мощности переключения трансформаторов в различных режимах

Режим	Номера включенных трансформаторов	Относительная суммарная мощность	Относительная граничная мощность переключения
1	1	1	$S_{гр1} = 0,46$
2	2	1,6	$S_{гр2} = 0,73$
3	3	2,56	$S_{гр3} = 1,04$
4	1+2	2,6	-
5	1+3	3,56	$S_{гр4} = 1,35$
6	2+3	4,16	$S_{гр5} = 1,54$
7	1+2+3	5,16	

Как видно из таблицы 2, мощности режимов 3 и 4 отличаются всего на 2,3%, поэтому нет смысла включать одновременно трансформаторы 1 и 2, а при возрастании нагрузки целесообразно сразу включить в работу только трансформатор 3. Поэтому режим 4 не рассматриваем. Таки образом, имея три

параллельно работающих трансформатора, можно устанавливать шесть ступеней суммарной мощности, за счет чего возможно минимизовать в них потери мощности.

Зависимость относительной суммарной мощности трансформаторов от относительной мощности подключенной нагрузки $S_{\Sigma^*} = f(S_{гр^*})$ представлена на рисунке 1. Здесь $S_{\Sigma^*} = S_{гр\Sigma} / S_{1н}$, $S_{гр^*} = S_{гр} / S_{1н}$.

Для перехода на абсолютные мощности (кВА) следует умножить относительные единицы по обеим осям зависимости $S_{\Sigma^*} = f(S_{гр^*})$ на номинальную мощность наименее мощного трансформатора. Таким образом обеспечивается универсальность данного подхода, т.к. наименьшая мощность может иметь пределы от 25 кВА до 2500 кВА и выше.

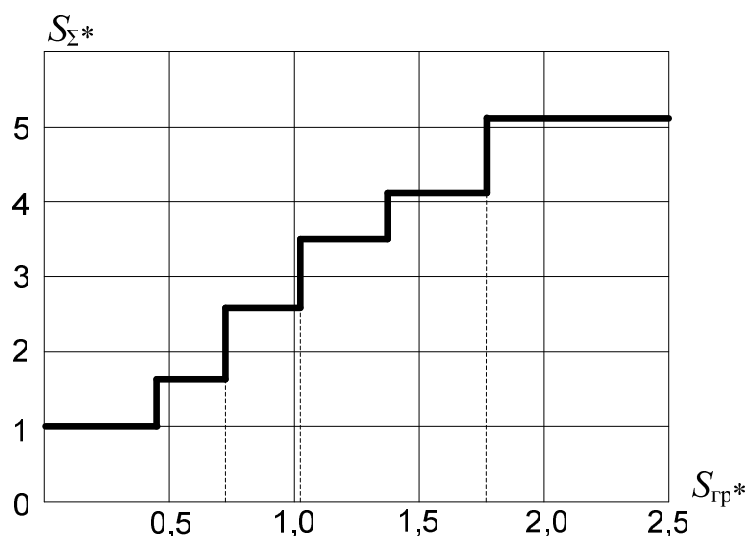


Рис. 1. Зависимость суммарной мощности от мощности нагрузки в относительных единицах

Осуществляя предлагаемое переключение трансформаторов по мере изменения их нагрузки, можно повысить их КПД за счет снижения потерь в меди. Расчеты показывают, что при переходе трансформатора с номинальной нагрузки на оптимальную его КПД возрастает до 2,5%.

Список литературы

1. ГОСТ 9680-77 Трансформаторы силовые мощностью 0,01 кВ·А и более. Ряд номинальных мощностей. – М.: Издательство стандартов, 1977.
2. Копылов И.П. Электрические машины. – М.: Юрайт, 2012. – 675 с.

Сведения об авторах:

Плотников Сергей Михайлович – д.т.н., профессор кафедры «Системы обеспечения движения поездов» КриЖТ ИрГУПС, г.Красноярск;
Колмаков Олег Витальевич – к.т.н., заведующий кафедрой «Системы обеспечения движения поездов» КриЖТ ИрГУПС, г.Красноярск.