

Поможет ли стабилизатор напряжения?

Николай Воронцов, к. т. н.
Наталья Воронцова, к. т. н.

vni@tula.net

Если вы обнаружили, что в вашем доме, например, в загородном коттедже, пониженное напряжение в сети, то напрашивается простое решение этой проблемы — поставить стабилизатор напряжения. Но, оказывается, стабилизатор может исправить ситуацию не во всех случаях. И именно в коттеджах (имеющих повышенную нагрузку) стабилизатор не всегда помогает, поэтому приходится искать другие способы исправить положение. Дело в том, что подводящая линия имеет сопротивление. Оно очень маленькое, но оно есть. А при больших токах потребления на этой линии напряжение заметно падает. Согласно закону Ома падение напряжения на подводящей линии можно высчитать по формуле:

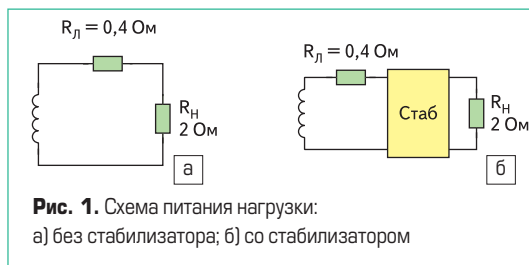
$$U_{\text{пад}} = R \times I_{\text{лин}}$$

Существенное падение напряжения происходит в тех случаях, когда к потребителю тянется длинная линия. На промышленных предприятиях такой проблемы нет: там трансформаторная подстанция находится на территории предприятия или буквально рядом с ним.

Авторы несколько раз сталкивались с такой ситуацией. Без нагрузки напряжение на входном автоматическом выключателе было 220 В. При включении нагрузки оно падало до 170 В. После установки стабилизатора напряжение на входе оказалось ниже 150 В, и он отключился по нижнему предельному напряжению. Казалось бы, что не хватает каких-то 10 В. И, чтобы поднять напряжение, перед стабилизатором был установлен автотрансформатор, поднимающий напряжение на 32 В. Стабилизатор снова отключился по нижнему напряжению, так как напряжение на входном автоматическом выключателе оказалось ниже 120 В. Померить его точно было невозможно, потому что когда стабилизатор повышал напряжение на выходе, оно понижалось на входе, и при достижении нижнего предела происходило отключение устройства.

Оказалось, что в зависимости от сопротивления подводящей линии к ней можно подключить какую-то максимальную нагрузку (поднимая напряжение с помощью стабилизатора до 220 В).

На рис. 1а показана выходная обмотка трансформатора на подстанции (выдающая 220 В), сопротивление линии ($R_{\text{л}}$) и сопротивление нагрузки ($R_{\text{н}}$). На рис. 1б изображена та же схема с включенным стабилизатором напряжения перед нагрузкой.



Многие свойства, справедливые для трансформатора, справедливы и для стабилизатора, так как основным его элементом является один или несколько трансформаторов.

1. Мощность на входе трансформатора равна мощности на выходе трансформатора:

$$P_{\text{вх}} = P_{\text{вых}} \quad (1)$$

$$U_{\text{вх}} \times I_{\text{вх}} = U_{\text{вых}} \times I_{\text{вых}}$$

Отсюда получается, что, если с помощью трансформатора надо вдвое повысить напряжение на нагрузке, то при этом вдвое увеличится потребление тока из подводящей линии (чтобы сохранился баланс входной и выходной мощности).

2. Трансформатор преобразовывает не только ток и напряжение, но и сопротивление. Если трансформатор имеет коэффициент трансформации $K_{\text{пер}}$, то имеют место следующие соотношения:

$$U_2 = U_1 \times K_{\text{пер}}$$

$$R_1 = R_{\text{нагр}} / K_{\text{пер}}^2$$

Например: пусть подводящая линия имеет сопротивление 0,65 Ом. Рассчитаем поведение линии и стабилизатора при подключении нагрузки 2 Ом (при 220 В она будет потреблять $220/2 = 110$ А, нагрузка составит $P = 220 \text{ В} \times 110 \text{ А} = 24\,200$ Вт).

Смоделируем процесс работы стабилизатора при сопротивлении линии $R_{\text{л}} = 0,4$ Ом и сопротивлении линии $R_{\text{н}} = 0,65$ Ом.

Модель работает следующим образом.

В начальный момент коэффициент передачи стабилизатора равен единице.

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}}$$

$R_1 = R_{\text{нагр}}$ (R_1 — входное сопротивление стабилизатора и напряжение на выходе трансформаторной подстанции равно 220 В).

1. Рассчитаем коэффициент передачи стабилизатора для текущего шага, умножая коэффициент передачи ($K_{\text{пер}}$) предыдущего шага на коэффициент коррекции ($K_{\text{кор}}$) предыдущего шага. Для первой строчки таблицы $K_{\text{пер}} = 1$.

2. Пересчитаем сопротивление нагрузки, приведенное к входу стабилизатора $R_1 = R_{\text{нагр}} / K_{\text{пер}}^2$.

3. Находим напряжение на входе стабилизатора с учетом делителя напряжения, состоящего из значенных сопротивлений линии и сопротивления нагрузки, пересчитанных по отношению к входу стабилизатора:

$$U_{\text{вх}} = [220 / (R_{\text{л}} + R_1)] \times R_1$$

4. Рассчитаем коэффициент коррекции (то есть во сколько раз надо поднять напряжение на выходе

стабилизатора, чтобы оно стало равно 220 В):
 $K_{кор} = 220 / U_{вых}$

Далее расчеты повторяются для каждой из строчек таблицы в том же порядке.

В таблице 1 приведен результат такого расчета (для $R_n = 0,4$ Ом), показывающий, как стабилизатор последовательно, за несколько шагов повышает напряжение.

Первый столбик отображает порядковый номер шага стабилизатора. В первой строчке таблицы отражена ситуация, когда прибор находится в нейтральном состоянии (напряжение проходит напрямую без повышения и понижения, коэффициент передачи равен единице). Затем стабилизатор определяет, во сколько раз ему надо повысить напряжение, чтобы оно оказалось в норме. Эта величина отражена в 6-м столбике в виде коэффициента коррекции ($K_{кор}$).

Во втором столбике приведены сопротивления нагрузки пересчитанные ко входу стабилизатора (R_1). Для этого сопротивление нагрузки делится на квадрат значения коэффициента передачи.

Затем выполнен расчет ($U_{вх}$), то есть какое напряжение будет на входе стабилизатора с учетом падения напряжения на подводящей линии (третий столбик таблицы).

В четвертом столбике — расчет значения коэффициента передачи стабилизатора ($K_{пер}$). В начальный момент (первая строчка) стабилизатор пропускает напряжение напрямую. Для последующего шага этот коэффициент можно рассчитать, умножив значение текущего коэффициента передачи на значение коэффициента коррекции ($K_{кор}$).

В пятом столбике показано выходное напряжение стабилизатора. Для этого входное напряжение умножается на коэффициент передачи.

Из приведенного примера следует, что стабилизатор справился с коррекцией напряжения на пятом шаге. Выходное напряжение стало 220 В (с точностью менее 1%), коэффициент коррекции стал равен единице (с точностью до второго знака после запятой). При этом достаточно, чтобы стабилизатор имел коэффициент передачи не менее 1,37 и, значит, мог повысить напряжение со 160 В.

В следующем примере изменим сопротивление подводящей линии с 0,4 на 0,65 Ом. Результаты расчетов показаны в таблице 2. В этой таблице выделена четвертая строка.

В ней представлены критические значения, так как при увеличении коэффициента передачи стабилизатора с каждой следующей строкой до этих значений выходное напряжение растет (1–4 строки), а при дальнейшем увеличении $K_{пер}$ (5–11 строки) — падает. В случае, если стабилизатор еще не отключится по низкому входному напряжению и сможет обеспечить рассчитанные коэффициенты передачи, то падение напряжения на подводящей линии начнет увеличиваться быстрее, чем растет напряжение на выходе стабилизатора.

Проанализируем данные, приведенные ниже четвертой, «критической» строки. Сопротивление нагрузки становится меньше сопротивления линии. Поэтому и изменение падения напряжения на линии будет больше изменения падения напряжения на входе стабилизатора. То есть напряжение на входе ста-

Таблица 1. Модель работы стабилизатора при $R_n = 0,4$ Ом

№ шага	R1	U _{вх}	K _{пер}	U _{вых}	K _{пер2}
1	2	183,33333	1,0000000	183,33333	1,2000000
2	1,3888900	170,80745	1,2000000	204,96890	1,0733333
3	1,2055860	165,19135	1,2880000	212,76646	1,0339975
4	1,1276109	162,39371	1,3317890	216,27412	1,0172276
5	1,0897404	160,92930	1,3547323	218,01612	1,0090997
6	1,0701752	160,14319	1,3670599	218,92534	1,0049088
7	1,0597455	159,71552	1,3737706	219,41248	1,0026780
8	1,0540929	159,48117	1,3774491	219,67719	1,0014695
9	1,0510018	159,35225	1,3794732	219,82215	1,0008091
10	1,0493032	159,28117	1,3805893	219,90187	1,0004462
11	1,0483674	159,24193	1,3812054	219,94581	1,0002464

Таблица 2. Модель работы стабилизатора при $R_n = 0,65$ Ом

№ шага	R1	U _{вх}	K _{пер}	U _{вых}	K _{пер2}
1	2	166,037736	1	166,037736	1,325
2	1,13919544	140,075808	1,325	185,600446	1,18534198
3	0,81079947	122,1008079	1,57057813	191,780278	1,14714611
4	0,61613153	107,057548	1,80168259	192,883719	1,14058356
5	0,4736082	92,7314382	2,05496954	190,560281	1,15449032
6	0,35533552	77,7589304	2,37244244	184,478587	1,19255033
7	0,24985336	61,0852182	2,82925702	172,825783	1,27295822
8	0,15419024	42,181379	3,60152598	151,917332	1,44815602
9	0,0735235	22,3561091	5,21557154	116,599886	1,88679429
10	0,02065271	6,77488722	9,84071062	66,669705	3,29984963
11	0,00189666	0,64007771	32,4728653	20,785157	10,5844762

билизатора будет падать быстрее, чем он поднимает напряжение на нагрузке.

Критическим становится коэффициент передачи, при котором пересчитанное сопротивление нагрузки становится меньше сопротивления подводящей линии. А теперь определим сопротивление подводящей линии, и какую мощность к такой линии можно подключить? Чтобы определить сопротивление подводящей линии, необходимо:

1. Измерить напряжение на входном автоматическом выключателе (U1).
2. Измерить ток через входной автоматический выключатель (I1).
3. Включить дополнительно нагрузку (2–3 кВт).
4. Измерить напряжение на входном автоматическом выключателе (U2).
5. Измерить ток через входной автоматический выключатель (I2).
6. Рассчитать сопротивление подводящей линии

$$R_n = |U_1 - U_2| / |I_2 - I_1|$$

Критическим будет приведенное сопротивление нагрузки (R_1), когда оно станет меньше или равно сопротивлению линии (R_n).

Теперь рассчитаем максимальную мощность, которую может пропустить такая линия.

Так как трансформаторная подстанция выдает 220 В и мы хотим получить с линии максимальную мощность, то $R_{кр}$ должно быть равно $R_{лин}$. Так как два этих сопротивления равны, то они образуют делитель напряжения. Напряжение на $R_{кр}$ будет 110 В.

$$P = U^2 / R_{кр}$$

Определим мощность на приведенном сопротивлении нагрузки (она же будет равна мощности на реальной нагрузке согласно (1) $P = U^2 / R_{кр}$).

В первом случае при $R_n = 0,4$ Ом; $P = 110^2 / 0,4 = 30\ 250$ Вт.

Во втором случае при $R_n = 0,65$ Ом; $P = 110^2 / 0,65 = 18\ 615$ Вт.

Наша нагрузка составляла 24 200 Вт. Она меньше максимально допустимой для первого случая (сопротивление линии $R_n = 0,4$ Ом) — стабилизатор справился с коррекцией напряжения. Но та же нагрузка больше максимально допустимой во втором случае (сопротивление линии $R_n = 0,4$ Ом) — значит, стабилизатор не справился с коррекцией напряжения.

Для определения мощности, которую можно подключить к вашей линии, можно воспользоваться следующей формулой:

$$P \text{ (кВт)} = 12,1 / R_n \text{ (Ом)}$$

Стабилизатор должен иметь коэффициент передачи не более 2, чтобы поднять напряжение со 110 В до 220 В. Делать коэффициент передачи больше 2 — не целесообразно, так как при увеличении тока в линии (при поднятии напряжения со 110 В и ниже) на $R_{лин}$ на падение напряжения будет увеличиваться больше, чем на $R_{кр}$, и стабилизации напряжения не будет.

В этом случае надо переходить на 3-фазную сеть. Если проложить четыре таких же провода и равномерно распределить нагрузку по фазам (ток не будет течь по нейтралю), то эффективное сопротивление линии по каждой фазе уменьшится вдвое. Для второго случая $R_{наз} = 0,65/2 = 0,325$ Ом и $P = 110^2 / 0,325 = 37\ 230$ Вт по каждой фазе. А 3 фазы можно нагрузить до 100 Квт (выигрыш в 6 раз).

Литература

1. Лосев А. К. Теория линейных электрических цепей. Учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1987.