

**Технико-экономическое
обоснование** использования
бестрансформаторного электронного
стабилизатора напряжения удержания
“БЭСНУ”

ТПК “САЯНЫ”

Москва, ноябрь 2022г.

Введение.	2
Экономическое обоснование.	4
1. Интеграция в существующую энергетическую инфраструктуру предприятия	5
1) Стоимость владения без БЭСНУ	5
А. Энергопотребление W	5
В. Стоимость содержания устройств рабочей группы	6
С. Затраты на поиск неисправности	6
Полная стоимость владения ТСОтр в традиционной инфраструктуре за 3 года	6
2) Стоимость владения рабочей группы с применением БЭСНУ	7
3) Экономическая эффективность	7
2. Проектирование энергетической инфраструктуры с использованием БЭСНУ	9
1) Стоимость владения без БЭСНУ	9
2) Стоимость владения инфраструктуры, построенной с применением БЭСНУ	9
А. Экономия в проектировании	9
В. Экономия в стоимости необходимого оборудования и материалов	10
С. Экономия в реализации проекта	11
3) Экономическая эффективность	11
Вывод	13
Приложение.	14
Характеристики БЭСНУ 380	14
Характеристики БЭСНУ 220	14

Введение

Устройство БЭСНУ предназначено для работы с электромагнитами различных типов, решая ряд проблем, возникающих при их эксплуатации, а, также, приносит дополнительные преимущества в эксплуатацию энергосетей.

- Существенно улучшенное управление включением и отключением электромагнитов
- Борьба с искрением\залипанием рабочих контактов электромагнита, при разрыве соединения, за счет снижения влияния ЭДС самоиндукции на электромагнит.
- Снижение энергопотребления катушек управления электромагнитов до 10 раз.
- Понижение рабочей температуры катушки электромагнита до температуры окружающей среды, и, как следствие, увеличение срока службы устройства.
- Упрощение выявления неисправности за счет индикаторов режима работы электромагнита. Это позволяет снизить трудозатраты на обслуживание и ремонт.
- Возможность замены эксплуатируемых электромагнитов на более дешевые.
- Особые возможности применения: работа в электромагнитных полях, управление катушками AC/DC.

Примеры (не ограничиваясь этим перечнем) электромагнитов, с которыми может взаимодействовать БЭСНУ:

- для гидроаппаратуры
- для газовой и энергетической арматуры
- взрывозащищенные
- тормозные
- удерживающие
- реле
- контакторы
- пускатели
- катушки электромагнита управления ЭУ

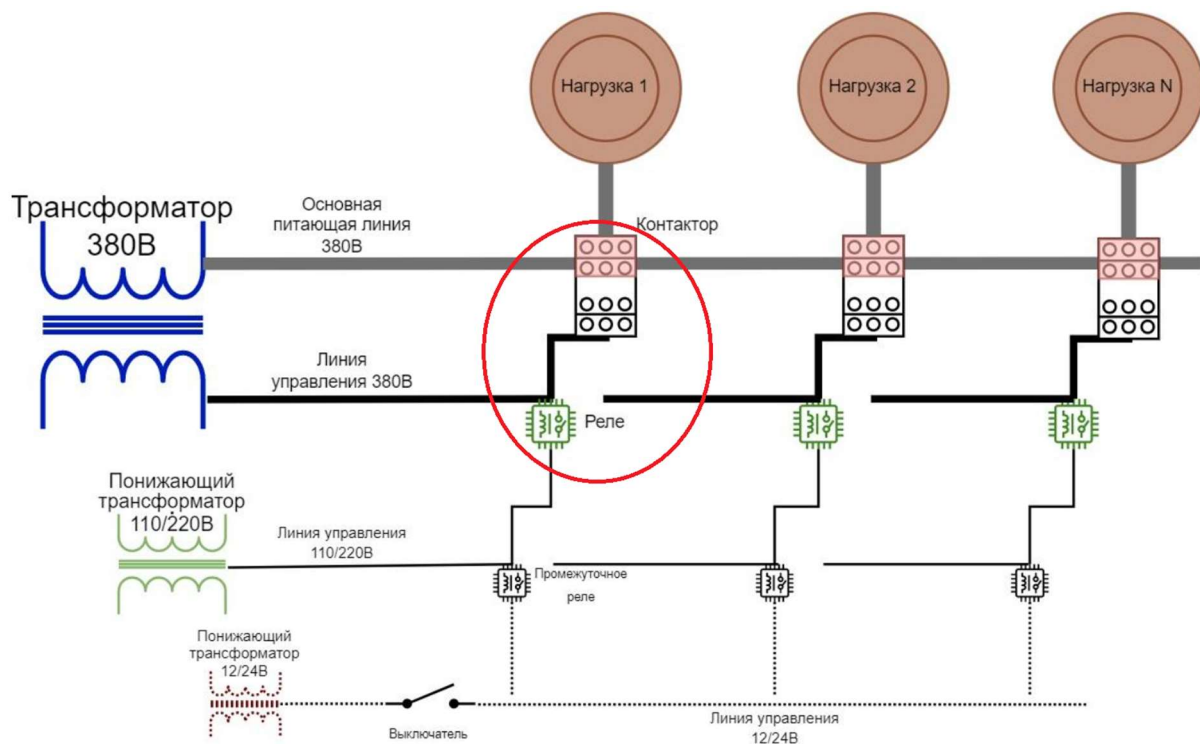
Экономическое обоснование

Устройство БЭСНУ можно интегрировать на разных стадиях разработки или эксплуатации энергосетей и автоматики:

1. Интеграция в существующую энергетическую инфраструктуру предприятия
2. Проектирование энергетической инфраструктуры с использованием БЭСНУ

Поскольку реальные схемы энергосетей предприятий отличаются по масштабам, и номенклатуре применяемого оборудования, экономическая эффективность при использовании БЭСНУ также будет отличаться. Тем не менее, принципиальное построение инфраструктуры всегда остается одинаковым. Рассмотрим разницу в стоимости владения энергосети с использованием и без БЭСНУ на примере ниже приведенной принципиальной модели.

Примечание: Важно отметить, что в реальной инфраструктуре окупаемость при применении устройства неизбежно наступит.



Принципиальная схема энергосети с большими индуктивными нагрузками и сетью управления.

В данной схеме нас, прежде всего, интересует рабочая группа “реле-контактор” линий управления 220В и 380В. Именно эти устройства являются наиболее распространенными и подверженными поломкам и именно их предлагается “улучшать” с помощью БЭСНУ. Следовательно, основной экономический эффект от применения БЭСНУ будет ограничен оптимизацией стоимости владения данной группы устройств.

1. Интеграция в существующую энергетическую инфраструктуру предприятия

Логика расчета, которую будем применять для определения экономической эффективности использования БЭСНУ такова:

- 1) Посчитаем стоимость владения без БЭСНУ (определим как **ТС_{Отр}**)
- 2) Посчитаем стоимость владения с БЭСНУ (определим как **ТС_{Об}**)
- 3) Посчитаем экономическую эффективность (определим как **Е**)

1) Стоимость владения без БЭСНУ

Посчитаем стоимость владения группы группы “реле-контактор” за 3 года. Для удобства, перечислим используемые в дальнейшем параметры расчета:

G - количество рабочих групп в модели / реальной инфраструктуре

S_{рг} - стоимость рабочей группы

S_б - стоимость БЭСНУ

F - количество замен рабочей группы, равная 12 / у, где у - количество месяцев наработки

W - энергопотребление рабочей группы, включая БЭСНУ Втч

T - коэффициент использования, равный х / 24, где х - количество часов эксплуатации в сутки

P - тариф электроэнергии (кВтч)

L_{диаг} - стоимость трудозатрат на обслуживание и диагностику неисправностей

А. Энергопотребление **W**

Время работы устройств в разных сетях может отличаться, в зависимости от задач. Для упрощения расчета, примем время работы равным 24 часа, следовательно T = 1.

Распространенными моделями устройств в рабочей группе можно принять

- вакуумный контактор с катушкой управления 380В и номинальной силой тока 250А ([ссылка на выборку таких устройств в магазине популярного продавца](#))
- реле управления с катушкой управления 220В и номинальной силой тока 50А ([ссылка в магазине популярного продавца](#))

Катушки, используемые в данном типе устройств могут иметь разное количество медного проводника, что обуславливает стоимость самого устройства (~ 2/3) и его энергопотребление. Использование большего количества медного проводника(витков или толщины обмотки в катушке) и/или использование более дорогого материала в качестве сердечника ведет к снижению потребляемой электромагнитом работы.

Таким образом, потребляемая мощность, рабочих групп за 3 года составит:

$$G * W * T * 24 * 365 * 3 = 26280 * G * W * T \text{ (Вт)}$$

В. Стоимость содержания устройств рабочей группы

При эксплуатации устройств происходит интенсивное изнашивание материалов изоляции обмотки катушки вследствие окружающей температуры. Это приводит к возникновению коротких замыканий, и устройство полностью выходит из строя.

Из практического опыта ремонтной эскалаторной службы метрополитена, возьмем средний срок времени наработки равным 8 месяцам. При этом, учтем, что ГОСТ предполагает время хранения контактора равным 5 годам и будем использовать это для гипотезы потенциального времени наработки устройства в дальнейшем. В общем случае будем использовать параметр **F**, в качестве частоты замены устройства.

Стоимость группы, определим как **Spr**.

В результате, стоимость владения группы «реле-контактор» за 3 года составит:

$$\mathbf{Spr * G * 3 * F \text{ (руб.)}}$$

С. Затраты на поиск неисправности

До полного выхода устройства из строя, часть времени оно всё еще продолжает работать но нестабильно. Например, в эскалаторе проблемы с катушкой управления электромагнитного тормоза типа КЭП или вакуумных контакторов дают помехи на работу более маломощных промежуточных реле или любых реле, что в итоге приводит к возникновению «плавающих» неисправностей вплоть до остановки работы эскалатора. Выявление и устранение таких неисправностей может занять 3-4 дня работы ремонтной бригады из 3 человек. Поскольку эти затраты трудно определимы, оставим их параметризованными через **Лдиаг**.

Полная стоимость владения **ТСОтр** в традиционной инфраструктуре за 3 года

Энергопотребление рабочей группы **W**, умноженное на тариф электроэнергии:

$$\mathbf{26280 * G * W * T * P \text{ (руб.)}}$$

+

Стоимость содержания устройств рабочей группы: **Spr * G * 3 * F (руб.)**

+

Затраты на поиск неисправности: **Лдиаг**

$$\mathbf{ТСОтр = G * (26280 * W * T * P + Spr * 3 * F) + Лдиаг \text{ (руб.)}}$$

В частном случае:

$$T = 1$$

$$G = 3$$

W = 130 Втч - на практике, наиболее распространенные устройства в паре контактор-реле потребляют 130 Вт/час

$$P = 5.98 \text{ руб./кВтч}$$

Spr = 20167 руб. - ориентировочная рыночная стоимость наиболее часто используемого контактора [КВ1](#) и реле [РПУ-3М](#) составит 13902 + 6265 = 20167 р.

$$F = 12 / 8 = 1.5$$

$$\mathbf{ТСОтр = 333\,547 + Лдиаг \text{ (руб.)}}$$

2) Стоимость владения рабочей группы с применением БЭСНУ

В каждой группе перед реле и контактором устанавливается блок БЭСНУ.

Поскольку БЭСНУ влияет на энергопотребление и частоту замены устройств рабочей группы, используем выведенную в прошлом пункте формулу, добавив стоимость самого устройства БЭСНУ и скорректировав значение коэффициентов.

$$ТСОБ = G * (2 * Sб + 26280 * W * T * P + Spr * 3 * F) + Lб$$

Комментарии к изменениям значений:

Sб - стоимость БЭСНУ. Целесообразность использования БЭСНУ в паре с реле рекомендуется определять, в первую очередь, критичностью работоспособности данного реле для системы в целом (при взаимосвязанной работе нагрузок не в(ы)ключение цепи может привести к крупным поломкам или авариям). Энергоэффективность остается важным, но всё же второстепенным фактором. В нашем расчете мы используем 2 устройства для рабочей группы.

W - энергопотребление снизится за счет энергоэффективной работы БЭСНУ с катушкой.

F - количество замен рабочих групп принимаем за 1. При использовании БЭСНУ воздействие на силовые контакты при циклах выключения существенно снижается за счет отсутствия самоиндукции (нет подгорания из-за отсутствия дуги). Температура катушки управления (существенно влияет на срок эксплуатации) равна температуре окружающей среды. Ускоренные испытания надежности (количество гарантированных производителем контактора циклов включения/выключения) и практический опыт эксплуатации позволяют заключить, что срок работы связки БЭСНУ с реле/контактором стремится к сроку эксплуатации самих устройств, а он существенно превышает 3 года.

Lб - в БЭСНУ реализована системы самодиагностики (светодиодная индикация), которая позволяет путем визуального наблюдения определить состояние работоспособности участка сети и катушки электромагнита. Время на поиск неисправности “прозвонкой” существенно сокращается. Однако, возможность сослаться на официальную статистику поломок и трудозатрат отсутствует, поэтому будем считать $Lб < L_{\text{диаг}}$.

В частном случае:

$Sб = 10000$ руб. - ориентировочная рыночная цена устройства

$T=1$

$G = 3$

$W = 130/10 = 13$ Втч

$P = 5.98$ руб./кВтч

$Spr = 20167$ руб.

$F = 0$

$$ТСОБ = 66129 + Lб \text{ (руб.)}$$

3) Экономическая эффективность

Полученные в предыдущих пунктах стоимости используем для вычисления экономической эффективности за 3 года эксплуатации:

$$E = (333\,547 + L_{\text{диаг}}) - (66129 + L_6) = 267418 + L_{\text{диаг}} - L_6 \text{ (руб.)}, \text{ где } L_{\text{диаг}} - L_6 > 0$$

То есть, экономия **более 80%**.

Помимо прямой экономии, использование БЭСНУ приносит дополнительные преимущества:

- Существенно улучшенное управление включением и отключением электромагнитов
- Исключение влияния ЭДС самоиндукции на электромагнит, позволяет избежать связанных с этим явлением поломок и аварийных ситуаций в энергосети. Это потенциальная дополнительная экономия.

2. Проектирование энергетической инфраструктуры с использованием БЭСНУ

Рассмотрим аналогичную модель инфраструктуры, но спроектированную с применением БЭСНУ.

Логика расчета, аналогична предыдущему варианту применения:

1. Посчитаем стоимость владения без БЭСНУ (определим как **ТС_{отр}**)
2. Посчитаем стоимость владения с БЭСНУ (определим как **ТС_{он}**)
3. Посчитаем экономическую эффективность (определим как **Е**)

1) Стоимость владения без БЭСНУ

ТС_{отр} возьмем из предыдущего расчета.

2) Стоимость владения инфраструктуры, построенной с применением БЭСНУ

Перечислим дополнительные введенные параметры:

Лп - экономический эффект, достигаемый на стадии проектирования

Soб - экономия в стоимости необходимого оборудования

Лреал - экономия в реализации проекта

При применении БЭСНУ на этапе проектирования энергосетей и систем автоматики, снижаются затраты как временные, так и финансовые на:

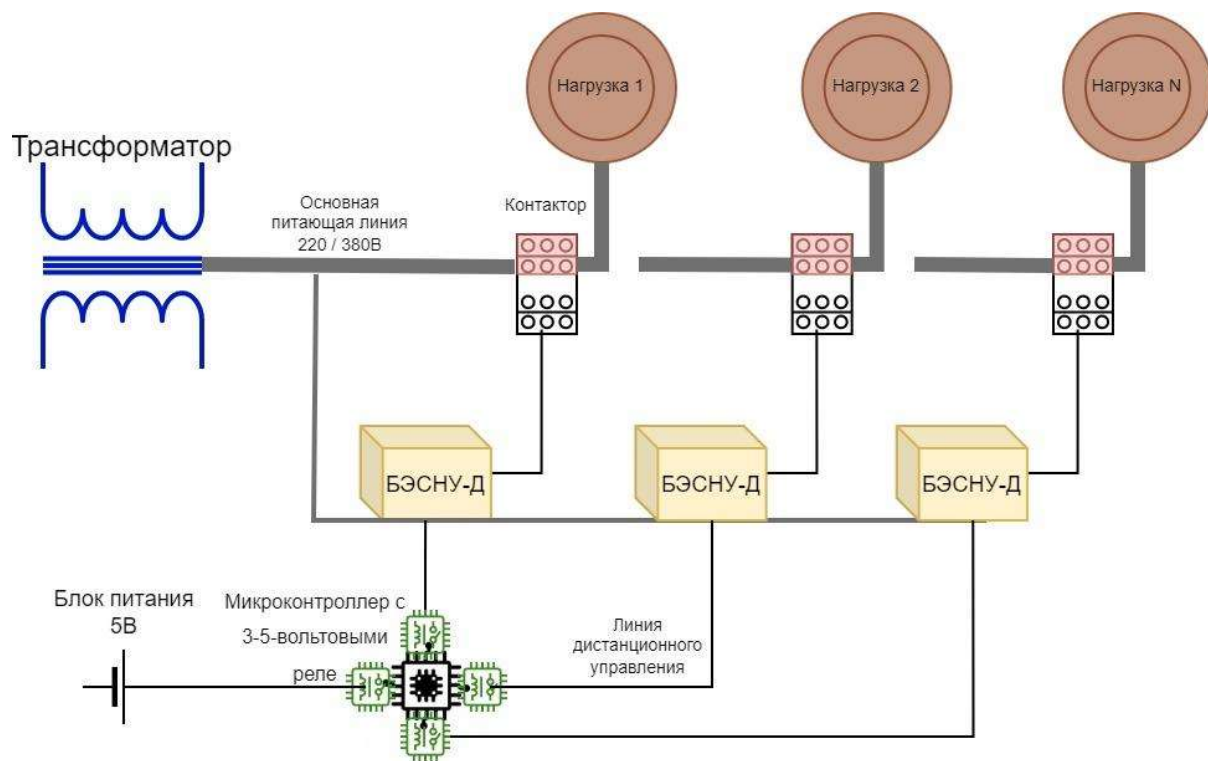
- проектирование
- стоимость необходимого оборудования и материалов
- реализацию проекта

В схеме проекта, проиллюстрированной ниже, используется БЭСНУ-Д - модель с дистанционным управлением от низковольтного реле контроллера. Это позволяет исключить реле и сопутствующую инфраструктуру из эксплуатации. Питание устройства происходит от основной питающей нагрузку линии.

Поясним некоторые детали перечисленных выше пунктов.

А. Экономия в проектировании

Для наглядности приведем схему инфраструктуры энергосети на базе БЭСНУ:



Принципиальная схема энергосети и сети управления, спроектированная с использованием БЭСНУ.

Как видно, при сравнении с ранее предложенной моделью, исчезает необходимость монтажа и проектирования:

1. линии управления 110/220В
2. линии управления 380В, БЭСНУ запитывают от основной сети 380В
3. соответствующих понижающих трансформаторов
4. промежуточных реле

добавляются:

1. источник питания 5В
2. микроконтроллер с 3-5-вольтовыми реле
3. слаботочные линии управления

Посчитать экономический эффект для этапа проектирования затруднительно, поскольку на него влияет большое количество различных и конкретных в каждом случае факторов. Поэтому предлагается оценить экономию качественно, определив параметром **Лп**, и заключить, что денежная и временная экономии будут больше 0.

В. Экономия в стоимости необходимого оборудования и материалов

Посчитаем экономию стоимости необходимого оборудования **Soб** как разницу стоимостей исключенного оборудования **R** и добавленного оборудования **A**

$$\text{Soб} = R - A \text{ (руб.)}$$

Примечание: Soб - в общем случае, величина положительная.

Ориентировочные рыночные стоимости оборудования (руб.):

источник питания 5В - средняя стоимость 1500 рублей

микроконтроллер с 3-5-вольтовыми реле - [одно из промышленных решений](#) "с запасом" - 20000 руб.

слаботочные линии управления - провод ПКСВ 2х0,5 150м (из расчета удаленности контроллера от нагрузки 50 метров) - 800 руб.

линия управления 110/220В - ВВГ кабель 2*1.5 - 150 метров - 6450 руб.

линия управления 380В - ВВГ кабель 2*2.5 - 150 - 6450 руб.

соответствующие понижающие трансформаторы: 1. 380/220 - 30000 руб.; 2. 380/12 - 11000 руб.

промежуточные реле - [РПУ-3М](#) 3 шт. - $6265 \cdot 3 = 18795$ руб.

Таким образом **Soб** = 72695 - 22300 = **50395** (руб.)

С. Экономия в реализации проекта

Подобно этапу проектирования, на стадии построения энергосетевой инфраструктуры сокращается стоимость используемого оборудования, а также стоимость и время работ. Аналогично, не будем оценивать эту экономию количественно, а введем параметр **Lреал**, также больший 0.

3) Экономическая эффективность

Итоговая эффективность при использовании БЭСНУ в проектировании с нуля по сравнению с традиционной инфраструктурой:

$$E = TCO_{\text{тр}} - TCO_{\text{н}}$$

Рассчитаем TCOн. Для этого используем ранее выведенную формулу владения инфраструктурой с БЭСНУ

$$TCO_{\text{б}} = G \cdot (2 \cdot S_{\text{б}} + 26280 \cdot W \cdot T \cdot P + Spr \cdot 3 \cdot F) + L_{\text{б}}$$

и модифицируем её, учитывая, что рабочая группа теперь состоит только из контактора:

$$TCO_{\text{н}} = G \cdot (S_{\text{б}} + 26280 \cdot W \cdot T \cdot P + Spr \cdot 3 \cdot F) + L_{\text{б}}$$

В частном случае:

$S_{\text{б}} = 10000$ руб. - ориентировочная рыночная цена устройства

$T=1$

$G = 3$

$W = 100/10 = 10$ Втч (с БЭСНУ) - потребление контактора принимаем за 100 Втч

$P = 5.98$ руб./кВтч

$Spr = 13902$ руб. - стоимость контактора

$F = 0$

$$TCO_{\text{н}} = 34715 + L_{\text{б}}(\text{руб.})$$

Таким образом, получаем экономию при эксплуатации энергосети, спроектированной с БЭСНУ за 3 года:

$$E = (333\,547 + L_{\text{диаг}}) - (34715 + L_{\text{б}}) = 298832 + L_{\text{диаг}} - L_{\text{б}} (\text{руб.}), \text{ где } L_{\text{диаг}} - L_{\text{б}} > 0$$

То есть, экономия **более 90%**.

При изначальном применении БЭСНУ в проекте, необходимо учитывать капитальные затраты на построение такой инфраструктуры в дополнение к эксплуатационным преимуществам. Поэтому отдельно покажем экономию капитальных затрат:

$$E_{\text{кап}} = L_{\text{пр}} + L_{\text{реал}} + So_{\text{б}} (\text{руб.})$$

В нашем случае $E_{\text{кап}} = L_{\text{пр}} + L_{\text{реал}} + 50395$ (руб.)

Искусственно совместив экономию при капитальных затратах с экономией при эксплуатации за первые 3 года, получим:

$$\mathbf{E + E_{кап} = L_{\text{пр}} + L_{\text{реал}} + 349227 \text{ (руб.)}}$$

Вывод

Мы рассмотрели применение БЭСНУ к коммутирующим электромагнитными устройствами, исходя из их общей распространенности в энергетической инфраструктуре. Однако, нужно обратить внимание на то, что БЭСНУ, как устройство, существенно улучшающее надежность работы, наиболее интересен в электромагнитах исполнительных устройств, перечисленных во введении данного документа.

Расчеты убедительно демонстрируют экономическую эффективность использования устройства. При этом вариант проектирования инфраструктуры с применением БЭСНУ дает большую экономию (90%) даже в модели с ограниченным масштабом применения устройства, упрощает реализацию сетей управления.

Немаловажным является наличие особенностей, которые позволяют найти применение устройству в специфических конструкциях: ограниченные габариты, устойчивость к электромагнитным полям, и к повышенной температуре окружающей среды.

Приложение

Модели блоков "БЭСНУ":

БЭСНУ 220 – для катушек управления с рабочим напряжением 220 Вольт

БЭСНУ 380 – для катушек управления с рабочим напряжением 380 Вольт

БЭСНУ (Д) - такие блоки отличаются наличием выхода для дистанционного управления (могут управляться напрямую от микроконтроллера).

Характеристики БЭСНУ 380

Входные характеристики:	
Диапазон входного питающего напряжения, В	~ 24...440
Частота питающей сети, Гц	50...100,
Максимальный ток питающей сети, А	40
Максимальный потребляемый ток в режиме удержания, А	Соответствует минимальному для каждого электромагнита
Выходные характеристики:	
Напряжение управления включением электромагнита, В	=~ 24...420
Режим форсированного включения:	
Выходное напряжение выпрямленное, В	24..420
Частота пульсации выходного напряжения, Гц	100
Максимальный выходной ток, А	40
Длительность форсированного режима, с	0,015...0,6
Режим удержания:	
Выходное напряжение (выпрямленное), В	5
Частота пульсации выходного напряжения, Гц	100
Общие характеристики:	
Температурный диапазон работы, °С	-10...+50
Охлаждение	естественная конвекция
Тип крепления	Монтажная лента
Масса, г, не более	50..200

Характеристики БЭСНУ 220

Входные характеристики:	
Диапазон входного питающего напряжения, В	~ 24...250
Частота питающей сети, Гц	50...100,
Максимальный ток питающей сети , А	40
Максимальный потребляемый ток в режиме удержания, А	Соответствует минимальному для каждого электромагнита
Выходные характеристики:	
Напряжение управления включением электромагнита, В	=~ 24...250
Режим форсированного включения:	
Выходное напряжение выпрямленное, В	24..420
Частота пульсации выходного напряжения , Гц	100
Максимальный выходной ток, А	40
Длительность форсированного режима, с	0,015...0,6
Режим удержания:	
Выходное напряжение (выпрямленное), В	5
Частота пульсации выходного напряжения, Гц	100
Общие характеристики:	
Температурный диапазон работы, °С	-10...+50
Охлаждение	естественная конвекция
Тип крепления	Монтажная лента
Масса, г, не более	50..200