

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА БЕСКОЛЛЕКТОРНОГО ЭЛЕКТРОМАШИННОГО УСИЛИТЕЛЯ С РЕГУЛИРУЕМОЙ ЧАСТОТОЙ (БЭМУ-РЧ)

А. С. БАТУРИН, А. И. СКОРОСПЕШКИН, Б. Е. ТРОФИМЕНКО, Ш. С. РОИЗ

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин  
и общей электротехники)

Одним из экономичных двигателей исполнительного механизма автоматизированного электропривода является асинхронный короткозамкнутый двигатель переменного тока, имеющий сравнительно высокую надежность работы и низкую себестоимость изготовления. Во многих случаях, когда требуется получить плавное изменение скорости вращения асинхронного двигателя в широком диапазоне, применяется частотное регулирование скорости. В качестве источников переменного тока регулируемой частоты используются синхронные и асинхронные генераторы, коллекторные и одноякорные преобразователи, различные схемы статических преобразователей. В настоящее время большое внимание уделяется разработкам схем статических преобразователей частоты, как наиболее перспективных.

Перспективным источником регулируемой частоты может стать также бесколлекторный электромашинный усилитель переменного тока регулируемой частоты (БЭМУ-РЧ), разрабатываемый на кафедре электрических машин Томского политехнического института.

БЭМУ-РЧ состоит из трех основных узлов:

- 1) приводной двигатель (асинхронный короткозамкнутый);
- 2) электромашинный усилитель (трехкаскадная электрическая машина);
- 3) управляемый полупроводниковый коммутатор (УПК).

Принцип работы БЭМУ-РЧ состоит в следующем. Напряжение постоянного тока подается на обмотку управления (первый каскад усилителя) через УПК. В результате этого создается неподвижный магнитный поток в пространстве. С помощью УПК магнитный поток становится вращающимся с определенной регулируемой скоростью, которая может изменяться в зависимости от частоты переключения УПК. Первый каскад возбуждает второй, являющийся асинхронным генератором. Последний является чисто индуктивной нагрузкой первого каскада и генерирует активную мощность в третий каскад, который является выходным и осуществляет функции бесконтактности. Частота на выходе усилителя изменяется в зависимости от частоты на входе.

Наряду с этим БЭМУ-РЧ осуществляет усиление мощности на выходе.

Технические и экономические показатели БЭМУ-РЧ необходимо сопоставить с аналогичными показателями конструкций, позволяющих осуществлять те же функции при одинаковых выходных параметрах. Наиболее приемлемым для сопоставлений с БЭМУ-РЧ может быть статический преобразователь трехфазного тока на плоскостных транзисто-

рах [1]. В табл. 1 приводятся технико-экономические показатели БЭМУ-РЧ и статического преобразователя.

Таблица 1

**Технико-экономические показатели бесколлекторного ЭМУ с регулируемой частотой (БЭМУ-РЧ) и статического преобразователя трехфазного переменного тока на плоскостных транзисторах.**

№ п.п.	Наименование количественного или качественного показателя	Ед. изм.	Значение показателя для	
			БЭМУ-РЧ-12А	Статич. преобр. 3 фазн. тока
1	2	3	4	5
<b>А. Технические показатели</b>				
1	Потребляемая мощность приводного двигателя	вт	2100	
2	Мощность приводного двигателя (номинальная)	вт	1700	
3	Число оборотов приводного двигателя	об/мин	2850	—
4	Модель приводного двигателя	—	А-32-2	
5	Вес обмоточной меди приводного двигателя	кг	1,66	—
6	Коэффициент полезного действия приводного двигателя	%	81,5	—
7	Коэффициент мощности приводного двигателя		0,87	0,70 (для схемы в целом)
8	Напряжение приводного двигателя	в	220/380	
9	Потребляемая мощность на входе усилителя (сигнал управления)	вт	100	—
10	Мощность на выходе усилителя	вт	1200	1100
11	Напряжение на выходе усилителя	в	110	40
12	Ток на выходе усилителя	а	4	9
13	Коэффициент усиления мощности	—	12	—
14	Эквивалентное быстродействие	сек	0,05	0,02
15	Коэффициент добротности	1/сек	240	—
16	Пределы частоты на выходе	гц	100—400	50—400
17	Габариты агрегата:			
	а) длина	м	0,91	0,30
	б) ширина	м	0,40	0,25
	в) высота	м	0,26	0,20
18	Вес агрегата	кг	100	30
19	Вес усилителя	кг	70	—
20	Коэффициент полезного действия (к.п.д.) усилителя	%	70	—
21	К.п.д. агрегата	%	57	70
				работа на холостом ходу не допускается
22	Потери электрической энергии агрегата:			
	а) потери холостого хода	вт	400	допускается
	б) потери при номинальной нагрузке	вт	900	470
23	Тип коммутатора усилителя	—	полупров.	полупровод.
24	Схема регулирования частоты	—	управл. полупров. коммутат. (УПК)	ПП схема стати. ческ. преобразоват.
25	Перегрузка по току в течение 3 сек.	—	кз	1,5
26	Функции, выполняемые усилителем	—	усиление мощности регулир. частоты	— регулир. частоты

1	2	3	4	5
27	Условия работы	—	нормальн.	норм.
<b>Б. Экономические показатели</b>				
I. При изготовлении				
28	Себестоимость изготовления агрегата		1754	2300
29	Себестоимость изготовления усилителя	руб./агр	196	—
30	Себестоимость изготовления схемы управления (управляемый полупроводниковый коммутатор)	руб	1500	—
31	Расход обмоточной меди на агрегат	кг/агр	8,2	1,2
I. При изготовлении				
32	Категория ремонтной сложности агрегата [4]	усл. рем. ед.	6	6
33	Ремонтные расходы в год	руб./год н-час	123	123
34	Трудоемкость ремонта	год	78,6	78,6
35	Стоимость потерь электрической энергии	руб./год	20,6	6,6
36	Стоимость всей электрической энергии (потребл.)	руб./год	24,8	15,4
37	Амортизационные отчисления от агрегата [3]	руб./год	242	276
38	Эксплуатационные расходы с включением всей потребляемой энергии (гр. 33+36+37) (полные)	руб./год	389,8	414,4
39	Эксплуатационные расходы с включением стоимости потерь электрической энергии (гр. 33+35+37)	руб./год	385,6	405,6
40	Схема регулирования		неревверс. регулир. скорости и мощн. асинхрон. короткоз. двигателя	неревверс. регулиров. скорости асинхрон. короткоз. двигателя

Сопоставление технических показателей (табл. 1, раздел А) позволяет установить, что БЭМУ-РЧ и статический преобразователь имеют примерно одинаковые выходные мощности (1,2 и 1,1 квт). Сравнение остальных технических параметров дает возможность сделать ряд выводов о преимуществах и недостатках рассматриваемых конструкций.

К основным преимуществам БЭМУ-РЧ следует отнести:

- а) малая мощность УПК;
- б) удовлетворительная форма кривых тока и напряжения, получаемая за счет машинной части;
- в) возможность работы при значительных перегрузках (допускает режим короткого замыкания);
- г) достаточно высокое напряжение на выходе;
- д) сравнительно хорошее быстродействие.

Недостатки БЭМУ-РЧ следующие:

- а) малый коэффициент усиления (12);
- б) сравнительно большой вес агрегата в целом (100 кг);
- в) сравнительно большие размеры агрегата;
- г) наличие вращающихся частей.

Основные преимущества статического преобразователя частоты на плоскостных транзисторах в сравнении с БЭМУ-РЧ;

- а) лучшее быстродействие;
- б) малые габариты и вес;
- в) более высокий к.п.д. агрегата;

г) отсутствие вращающихся частей.

Наряду с этим статический преобразователь частоты имеет ряд существенных недостатков, снижающих эффективность его применения. К недостаткам статического преобразователя относятся:

а) полупроводниковые элементы, рассчитываются на полную мощность нагрузки;

б) неудовлетворительные формы кривых тока и напряжения на выходе (для сглаживания устанавливаются дополнительные фильтры, удорожающие схему);

в) чувствительность к перегрузкам;

г) низкое выходное напряжение (без трансформатора на выходе). Включение дополнительного трансформатора сужает диапазон регулирования частоты;

д) недопустимость работы без нагрузки (холостой ход невозможен).

Силовые полупроводниковые элементы в статических преобразователях частоты находятся в более трудных условиях (чем у БЭМУ-РЧ), не допускают короткого замыкания, чувствительны к коммутационным переключениям.

Анализируя экономические показатели (табл. 1, раздел Б), устанавливаем, что ориентировочные значения себестоимости изготовления (определенные укрупненным методом [2]) у БЭМУ-РЧ и статического преобразователя составляют крупные суммы. Большая себестоимость изготовления объясняется высокими ценами на полупроводниковые приборы. Так, себестоимость изготовления УПК для БЭМУ-РЧ равна 1500 руб, что составляет около 86 проц. себестоимости всего агрегата. При этом наиболее дорогие элементы (табл. 2) тиристоры, диоды ВК2-10 и полупроводниковые триоды составляют 42 проц. себестоимости изготовления схемы УПК или свыше 90 проц. стоимости покупных изделий и основных материалов. С увеличением масштаба производства полупроводниковых приборов, а также с дальнейшим совершенствованием технологии их изготовления себестоимость и цены на них будут снижаться, а это, в свою очередь, позволит значительно снизить себестоимость изделий, в схемы которых входят полупроводники. Подходя с этих позиций, можно ожидать, что такие изделия являются перспективными, тем более, что применение полупроводниковых приборов позволяет создавать бесконтактные схемы с высоким коэффициентом полезного действия, с хорошим быстродействием и малыми габаритами.

Сравнение себестоимости БЭМУ-РЧ и статического преобразователя (табл. 1) показывает, что последний является более дорогим изделием при изготовлении. Однако при этом надо иметь в виду и то, что на изготовление статического преобразователя частоты потребляется значительно меньше дефицитной меди.

Эксплуатационные расходы в год у статического преобразователя также несколько превышают расходы по БЭМУ-РЧ. Это объясняется в основном большими амортизационными отчислениями статического преобразователя.

Все экономические расчеты произведены для двухсменного режима работы в нормальных условиях эксплуатации.

Так как коэффициент полезного действия, коэффициент мощности, а также расход меди для сравниваемых вариантов не одинаковы, следует учесть различия в денежном выражении. В табл. 3 приведены значения основных экономических показателей и их корректировка.

Как видим из табл. 3, что и после корректировки экономических показателей БЭМУ-РЧ имеет меньшие единовременные затраты и эксплуатационные расходы. Важно отметить, что если единовременные затраты БЭМУ-РЧ-12А в 1,27 раза меньше, то эксплуатационные расхо-

Таблица 2

**Расчет стоимости покупных изделий и основных материалов  
схемы управления БЭМУ-РЧ-12А**

№ п.п.	Наименование покупных изделий и основных материалов	Тип	Кол-во	Цена, руб./шт.	Сумма руб.	Обоснование
1	Тиристор	УД	12	40	480,0	Номенкл. завода, 1966
2	Диод	ВК2-10	12	7	84,0	»
3	Полупроводниковый триод	МП	12	1,4	14,8	Прейскур. № 16-03
4	Полупроводниковый триод	П16	12	0,56	6,7	Прейскур. № 16-03
5	Диод	Д9Ж	6	0,13	0,78	»
6	Диод	Д9Б	6	0,03	0,18	»
7	Конденсатор	МБГП 2×160	12	0,30	3,60	Прейскур. № 16-01
8	Диод	Д7Ж	9	0,20	1,80	Прейскур. № 16-03
9	Стабилитрон	Д813	4	0,63	2,52	»
10	Полупроводниковый триод	П4БЭ	2	2,05	4,10	»
11	Сопротивление	МЛТ-0,25	75	0,11	8,25	Прейскур. № 16-01
12	Сопротивление	МЛТ-0,5	13	0,023	0,30	»
13	Сопротивление переменное	СПО-1	2	0,29	0,58	»
14	Текстолит	2,5 мм	0,525	2,40	1,26	Прейскур. № 15-10
15	Конденсатор 50×50 в	КЭ-1а	7	0,165	1,16	Прейскур. № 16-01
16	Конденсатор 20×50 в	КЭ-1а	40	0,093	3,72	»
17	Конденсатор 15×70 в	ЭТО-1Б	6	0,093	0,56	»
18	Монтажный провод	1 мм <sup>2</sup>	10 м	0,022	0,22	Прейскур. № 15-09
19	Монтажный провод силовой	6 мм <sup>2</sup>	9 м	0,0645	0,58	»
20	Трансформатор	30 вт	1	4,15	4,15	Прейскур. № 15-03
21	Трансформатор	200 вт	1	5,70	5,70	»
	Итого				626,87	
	Трансформаторно-заготовительные расходы (9%)				54,4	
	Всего				683,27	

ды — всего в 1,06 раза. Такое соотношение объясняется меньшей стоимостью потерь электрической энергии у статического преобразователя за счет более высокого к.п.д.

Таблица 3

**Основные экономические показатели БЭМУ-РЧ-12А и статического преобразователя частоты на плоскостных транзисторах с учетом корректировки**

№ пп.	Наименование показателя	Ед. изм.	Значение показателя для	
			БЭМУ-РЧ-12А	Статич. преоб-раз. ча-стоты
1	Себестоимость изготовления	руб./изд	1754	2300
	а) затраты на покрытие дополнительных потерь электрической энергии до к. п. д. = 70% [6] руб.		34	—
	б) затраты на приобретение статических конденсаторов для компенсации реактивной мощности для доведения $\cos\varphi=0,87$ для обоих агрегатов [5]	руб.	—	6,05
1	в) сопряженные капитальные затраты, связанные с большим использованием меди [6]	руб.	19,6	
	Скорректированные единовременные затраты	руб.	1807,6	2306
	2 Эксплуатационные расходы	руб. изд. год	389,8	414,4
2	а) дополнительные расходы, связанные с потерей электрической энергии в статических конденсаторах [5]	руб./год	—	0,142
	Скорректированные эксплуатационные расходы	руб. изд. год	389,8	414,5

**Выводы**

1. Бесколлекторный электромашинный усилитель с регулируемой частотой (БЭМУ-РЧ-12А) осуществляет усиление мощности и широкий диапазон регулирования частоты на выходе.

2. БЭМУ-РЧ-12А в сравнении со статическим преобразователем трехфазного тока на плоскостных транзисторах имеет ряд существенных преимуществ:

а) небольшая мощность на входе управляемого полупроводникового коммутатора (УПК);

б) удовлетворительная формы кривых напряжения и тока на выходе за счет машинной части;

в) возможность работы при значительных перегрузках (допускает режим короткого замыкания);

г) достаточное высокое напряжение на выходе;

д) сравнительно хорошее быстродействие;

е) меньшая себестоимость изготовления и эксплуатационные расходы (при двухсменном режиме работы и нормальных условиях эксплуатации);

3. БЭМУ-РЧ-12А может найти применение в реверсивных схемах автоматизированного привода для управления асинхронными короткозамкнутыми двигателями. При этом не должно быть жестких требований к габаритам и весу агрегата БЭМУ-РЧ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. М. Б. Коновалов. Статические преобразователи трехфазного переменного тока на плоскостных транзисторах. Диссертация, Томск, 1963.
2. А. С. Консон. Экономическое обоснование проектов электрических машин, аппаратов, приборов. Госэнергоиздат, М.-Л., 1963.
3. П. Р. Филиппов. Новые нормы амортизации. Москва, 1963.
4. Единая система планово-предупредительного ремонта и рациональной эксплуатации технологического оборудования машиностроительных предприятий. Москва, 1964.
5. И. А. Сыромятников. Режимы работы асинхронных и синхронных электродвигателей. Госэнергоиздат, 1963.
6. Журнал «Вестник статистики», № 9, 1966.