

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА БЕСКОЛЛЕКТОРНОГО ЭЛЕКТРОМАШИННОГО УСИЛИТЕЛЯ ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ (БЭМУ-ПЧ-25А)

А. С. БАТУРИН, А. И. СКОРОСПЕШКИН, М. Л. КОСТЫРЕВ

(Рекомендована семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

Создание бесколлекторной конструкции электромашинного усилителя (БЭМУ) устраняет недостатки, связанные с наличием скользящего контакта, увеличивает надежность и создает возможность работы в более трудных условиях эксплуатации.

В ряде случаев в автоматизированном приводе требуется иметь повышенную скорость (более 3000 об/мин) у специального асинхронного двигателя исполнительного механизма. Одним из путей решения этого вопроса является создание электромашинного усилителя с выходом на переменном токе с повышенной (более 50 гц) частотой. Приемлемое решение этого вопроса получено на кафедре электрических машин Томского политехнического института.

В результате проведенных исследований разработан электромашинный усилитель с повышенной частотой (200 герц) и мощностью на выходе 2,5 квт (БЭМУ-ПЧ-25А). В данной статье дается оценка новой конструкции усилителя.

Для технико-экономического анализа новой конструкции необходимо осуществить сравнение с ЭМУ, позволяющим выполнять те же функции в схемах автоматики с одинаковыми выходными параметрами. Такое сравнение было бы наиболее правильным. Но обычные ЭМУ не имеют выходных параметров на переменном токе, тем более с повышенной частотой. Кроме того, в настоящее время отечественная промышленность не выпускает усилители-преобразователи, выполняющие те же функции. Однако сопоставление технико-экономических показателей новой конструкции с ЭМУ позволяет оценить ее прогрессивность. Исходя из этих соображений, приводятся сравнения новой конструкции с выходом на переменном и постоянном токе с электромашинным усилителем поперечного поля ЭМУ-25А, имеющим одинаковую мощность. Получение постоянного тока на выходе БЭМУ-ПЧ-25А осуществляется по схеме Ларионова на полупроводниковых вентилях ВК2-10 [7, 8]. Поскольку новый усилитель может функционировать только в нереверсивных схемах автоматики, то и все сравнения производятся для этого режима работы. Технико-экономические показатели по рассматриваемым вариантам приводятся в табл. 1.

Анализируя технические данные (табл. 1), устанавливаем, что электрические показатели (напряжение и мощность), а также энергетические эксплуатационные показатели ($\cos\varphi$ и к.п.д.) у сравниваемых усилителей одинаковы.

По конструктивным же показателям БЭМУ-ПЧ-25А в обоих исполнениях имеет меньший вес (140 и 141 кг < 230 кг) и меньшие габариты

Таблица 1

Технико-экономические показатели по сравниваемым усилителям для нереверсивных схем управления

№ п.п.	Наименование количественного или качественного показателя	Ед. изм.	Значение показателя для		
			БЭМУ-ПЧ-25А выход на перемен. токе	БЭМУ-ПЧ 25А выход на постоян. токе	ЭМУ-25А выход на постоян. токе
1	2	3	4	5	6

А. Технические показатели

1	Потребляемая мощность приводного двигателя	вт	3900	3900	3900
2	Скорость вращения [1]	об/мин	2925	2925	2925
3	Номинальное напряжение двигателя [10]	в	380/220	380/220	380/220
4	Номинальная мощность приводного двигателя [10]	вт	4000	4000	4500
5	Коэффициент мощности приводного двигателя	—	0,89	0,89	0,88
6	Род тока приводного двигателя	—	перем.	перем.	перем.
7	Мощность усилителя	вт	2500	2500	2500
8	Напряжение на выходе	в	150	150	115
9	Номинальный ток на выходе	а	17	17	21,7
10	Коэффициент усиления	—	2500	2500	2500
11	Постоянная времени обмотки управления [10]	сек	—	—	0,13
12	Постоянная времени поперечной цепи [10]	сек	—	—	0,10
13	Эквивалентная постоянная времени усилителя	сек	0,12	0,12	0,20
14	Коэффициент добротности усилителя	1/сек	21000	21000	12500
15	Допустимая перегрузка агрегата по току (3 сек)	—	6	6	2,5
16	Коэффициент полезного действия (к.п.д.) агрегата	%	64	64	64
17	Габаритные размеры [1]:				
	а) длина	м	0,840	0,840	0,971
	б) ширина	м	0,345	0,345	0,420
	в) высота	м	0,380	0,380	0,430
18	Вес агрегата [1]	кг	140	141	230
19	Потери электрической энергии:				
	а) суммарные потери холостого хода:	вт	440	445	360
	б) суммарные потери при номинальной нагрузке:	вт	1280	1330	1400
20	Частота тока на выходе	гц	200	—	—
21	Узел коммутации	—	полу-пров.	полу-пров.	коллек.-щеточн.
22	Условия нормальной работы усилителя	—	норм. и тяж.	норм. и тяж.	нормальные

1	2	3	4	5	6
23	Работа в схемах автоматики	—	нереверс.	нереверс.	реверс., нереверс.
Б. Экономические показатели					
I. При изготовлении					
24	Оптовая цена агрегата	руб./агр	171 (ориент.)	217 (ориент.)	196 [6]
25	Оптовая цена усилителя	руб./усил.	135 (ориент.)	181 (ориент.)	155
26	Расход меди на агрегат [9, 10]	кг/агр	12,65	12,65	15,25
II. При эксплуатации					
27	Категория ремонтной сложности [3]	усл. рем. ед.	3,3	3,3	4,1
28	Ремонтные расходы	руб. агр. год	78,5	78,5	97,3
29	Трудоемкость ремонта	н-час агр. год	43,5	43,5	54
30	Стоимость потерь электрической энергии	руб. агр. год	28,4	29,0	26,8
31	Годовая амортизация	руб. агр. год	19,2	24,2	22
32	Повышение производительности труда при ремонте	%	24,0	24,0	—

($0,11 \text{ м}^3 < 0,175 \text{ м}^3$) и является более прогрессивным усилителем по этим показателям.

Важно также и то, что новый усилитель превосходит ЭМУ-25А по качеству, которое характеризуется для этих изделий быстродействием и коэффициентом усиления. Сравнимые конструкции усилителей имеют одинаковые коэффициенты усиления (2500), но по быстродействию БЭМУ-ПЧ-25А является лучшим усилителем ($0,12 \text{ сек} < 0,20 \text{ сек}$). В результате коэффициент добротности (качества) у нового усилителя в обоих исполнениях значительно превосходит этот же показатель ЭМУ-25А ($21000 > 12500$).

Таким образом, БЭМУ-ПЧ-25А при меньших габаритах и весе обладает более высоким качеством в нереверсивных схемах автоматического управления по сравнению с изготавливаемым в настоящее время усилителем ЭМУ-25А.

Наряду с этим при оценке технической прогрессивности надо учитывать ряд новых ценных показателей нового усилителя (БЭМУ-ПЧ-25А) — бесколлекторное исполнение и выход на повышенной частоте (200 гц).

Отсутствие коллекторно-щеточного узла оказывается решающим фактором при выборе усилителя для работы в агрессивной среде, при повышенной влажности, во взрывоопасной среде, запыленной атмосфере и т. д.

БЭМУ-ПЧ-25А может найти применение для высокоскоростного регулируемого электропривода прецизионных металлорежущих станков (координатно-расточные, шлифовальные, внутришлифовальные), для станков деревообрабатывающей, а также в химической промышленности (центрифуги).

В настоящее время высокоскоростной привод осуществляется по схеме: асинхронный преобразователь частоты и многоскоростной асинхронный электродвигатель. При этом скорость регулируется ступенчато.

Применение нового усилителя позволит осуществить бесступенчатое регулирование скорости по схеме ЭМУ-ПЧ — двигатель с повышенным скольжением (АОС). Схема регулирования скорости при этом становится более совершенной. Кроме того, БЭМУ-ПЧ-25А может быть использован и как генератор повышенной частоты для автономных систем. Последнее расширяет возможности применения нового усилителя.

Важное значение при анализе новых конструкций имеют экономические показатели (табл. 1, раздел Б). Оптовая цена БЭМУ-ПЧ-25А с выходом на переменном токе выше, чем у ЭМУ-25А за счет дополнительных затрат на выпрямление тока (схема Ларионова). При исполнении БЭМУ-ПЧ-25А с выходом на переменном токе с частотой 200 гц новый усилитель будет иметь более низкую оптовую цену по сравнению с ЭМУ-25А (ориентировочно на 25 руб. меньше).

Одним из существенных преимуществ новой конструкции является снижение расхода меди на усилитель (примерно на 2,8 кг на усилитель). Экономия меди достигается благодаря отсутствию у БЭМУ-ПЧ-25А коллекторно-щеточного узла.

Исключение коллекторно-щеточного узла в новой конструкции придает ей еще одно важное преимущество перед ЭМУ-25А — лучшую технологичность при изготовлении. Внедрение БЭМУ-ПЧ-25А будет ускорено благодаря использованию в конструкции ранее освоенных деталей и узлов, используемых от серийных асинхронных двигателей. Это обеспечит возможность быстрого освоения новой конструкции в производстве. Причем освоение можно осуществить, не допуская крупных затрат.

Значительные преимущества нового усилителя проявятся при эксплуатации. Упрощение конструкции за счет отсутствия коллекторно-щеточного узла сокращает категорию ремонтной сложности БЭМУ-ПЧ-25А по сравнению с ЭМУ-25А на 0,8 условных ремонтных единиц [3]. Исходя из этого, расходы на ремонт и трудоемкость проведения ремонтных работ сокращаются на 19,5 проц., а производительность труда на ремонтах в сравнении с ЭМУ-25А возрастет на 24 проц. Несколько большая стоимость потерь электрической энергии у БЭМУ-ПЧ-25А объясняется более высокими потерями при холостом ходе усилителя. При этом стоимость потерь определялась для работы в течение 4000 часов в год (двухсменный режим с учетом лучшего использования оборудования). Кроме того, сделано допущение, что 2000 часов усилитель работает под нагрузкой и 2000 часов — в режиме холостого хода. Коэффициент использования мощности принят 0,7.

В заключение анализа экономической эффективности новой конструкции необходимо дать количественную меру оценки в денежном выражении. Для этого экономические показатели (табл. 1) преобразуются в стоимостные (денежные) показатели, которые представлены в табл. 2.

Из табл. 2 следует, что капитальные затраты (К) у сравниваемых усилителей находятся примерно в тех же соотношениях, что и цены, так как они возросли на величину затрат на транспортировку до потребителя и расходов на монтаж.

Годовые эксплуатационные расходы (С) у БЭМУ-ПЧ-25А в обоих исполнениях оказываются меньшими против ЭМУ-25А.

**Основные стоимостные показатели экономической эффективности
сравниваемых усилителей для нереверсивных схем**

№ пп.	Наименование стоимостного показателя	Значение стоимостного показателя		
		БЭМУ-ПЧ-25А выход на перем. токе	БЭМУ-ПЧ-25А выход на постоянн. токе	ЭМУ-25А выход на постоянн. токе
1	Капитальные затраты (К), руб./усил.	188	239	216
2	Годовые эксплуатационные расходы (С), руб./усил. год	126,1	131,1	145,9
3	Годовые приведенные затраты у потребителя $(C+E_n \cdot K)$, руб./усил. год	154,3	168,8	178,3

Окончательные выводы об экономической эффективности должны производиться с учетом как капитальных (К), так и эксплуатационных (С) расходов. Это находит свое отражение в годовых приведенных затратах [4]:

$$C_i + E_n \cdot K_i, \quad (1),$$

где i — номер рассматриваемого варианта;

E_n — коэффициент сравнительной экономической эффективности 1/год. Для нашего случая $E_n = 0,15$ [4]. Сопоставление годовых приведенных затрат у потребителя (табл. 2) дает возможность сделать окончательные выводы об экономической эффективности усилителей. В нереверсивных схемах управления БЭМУ-ПЧ-25А является более экономичным усилителем в сравнении с ЭМУ-25А.

Выводы

1. Бесколлекторный электромашинный усилитель повышенной частоты БЭМУ-ПЧ-25А в нереверсивных схемах автоматического управления более экономичен против ЭМУ-25А.

2. Новый усилитель обладает лучшим быстродействием ($0,12 < 0,20$ сек), имеет меньший вес и габариты.

3. БЭМУ-ПЧ-25А может найти применение как бесконтактный генератор повышенной частоты для автоматизированного высокоскоростного привода, а также для питания автономных систем.

4. Новый усилитель имеет более технологическую конструкцию в изготовлении, так как в нем отсутствует коллекторно-щеточный узел и он состоит в основном из деталей и узлов освоенных электрических двигателей. На его изготовлении требуется меньшее количество меди.

5. Значительный экономический эффект ожидается получить при эксплуатации БЭМУ-ПЧ-25А. Сокращение расходов на ремонт около 19,5 проц. Кроме того, новый усилитель при эксплуатации будет характеризоваться всеми преимуществами бесколлекторной машины (повышенная надежность, возможность работы в трудных условиях — запыленность, повышенная влажность, стабильные параметры на выходе).

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Радин. Электромашинные усилители. Госэнергоиздат, 1962.
2. Справочные данные по электрооборудованию. Том 1, Изд. «Энергия». М.-Л., 1964.

3. Единая система планово-предупредительного ремонта и рациональной эксплуатации технологического оборудования машиностроительных предприятий. Машгиз, 1964.
4. Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений. Москва, 1966.
5. Дополнение № 1 к прейскуранту № 15-01. Оптовые цены на машины электрические средней и малой мощности. Москва, 1965.
6. Прейскурант № 15-01. Оптовые цены на машины электрические средней и малой мощности, 1963.
7. Номенклатура изделий завода «Электровыпрямитель» на 1966 г. Саранск, 1966.
8. Прейскурант № 16-03. Оптовые цены на полупроводниковые приборы. Часть 2. Москва, 1966.
9. Обмоточные данные асинхронных двигателей. Изд. Энергия, М.,-Л., 1966.
10. В. В. Рудakov. Электромашинные усилители в системах автоматики. ГЭИ, 1961.