РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ДЛЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ВЕНТИЛЯТОРА ВЦД47У ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ ШАХТ И РУДНИКОВ С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ В РОТОРЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Иванцов В.В.

Центробежный вентилятор ВЦД47У используется для главного проветривания шахт и рудников угольной и горнодобывающей промышленности с потребным расходом воздуха до 590 м³/с и давлением до 830 даПа. Наиболее часто вентиляторы ВЦД47У используются для проветривания глубоких (600-1600 м) труднопроветриваемых угольных шахт и рудников с большой протяженностью подземных выработок.

В зависимости от типа используемого электропривода вентилятор ВЦД47У имеет три исполнения:

- с нерегулируемым асинхронным электроприводом (ВЦД47У-Н);
- с регулируемым асинхронным электроприводом (ВЦД47У-Р);
- с нерегулируемым синхро-асинхронным электроприводом (ВЦД47У-НС).

Аэродинамические характеристики вентиляторов с нерегулируемым (ВЦД47У-Н) и регулируемым (ВЦД47У-Р) приводом показаны на рис. 1 а и б.

Изменение производительности вентилятора с нерегулируемым приводом осуществляется путем изменения угла поворота лопаток направляющего аппарата (НА). Однако при снижении производительности вентилятора за счет увеличения угла поворота лопаток НА снижается эксплуатационный КПД вентилятора, что приводит к непроизводительным затратам электроэнергии, потребляемой приводными электродвигателями. Произведем оценку затрат электроэнергии нерегулируемого электропривода вентилятора ВЦД47У-Н по сравнению с регулируемым электроприводом вентилятора ВЦД47У-Р. Для этого воспользуемся конкретными данными вентиляционной установки главного проветривания одной из рудных шахт Курской магнитной аномалии.

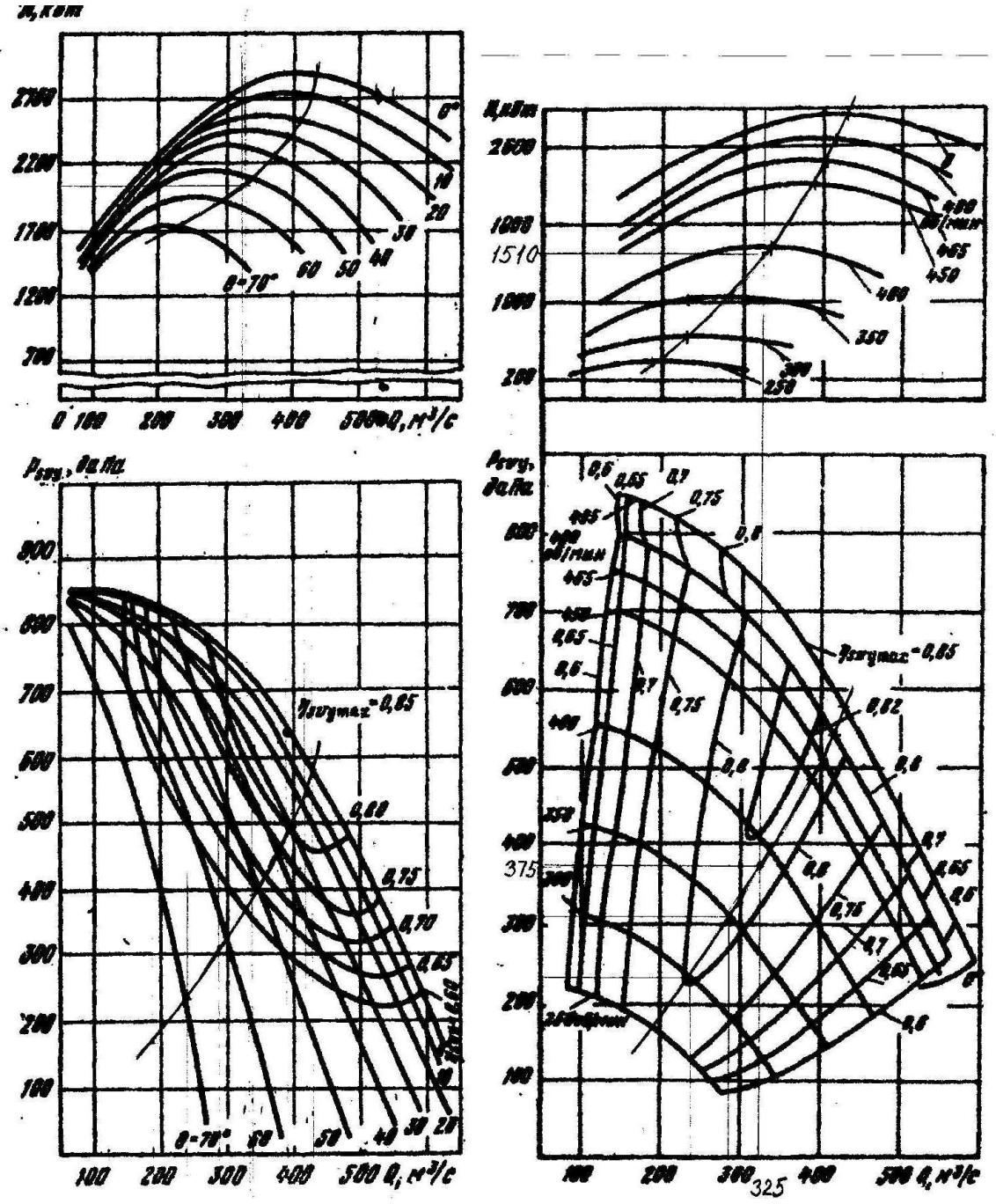
Вентиляционная установка главного проветривания (ГВУ) рудной шахты содержит два вентилятора типа ВЦД-47У. Для исключения перерывов в работе ГВУ один вентилятор находится в работе, второй – в горячем резерве. Каждый вентилятор ВЦД-47У приводится в движение двумя асинхронными электродвигателями с фазным ротором типа АКН2-18УЗ (АКН2-18-43-12УХЛ), которые соединены с валом вентилятора. Пуск электродвигателей осуществляется с помощью роторных резисторно-контакторных станций (РС). Регулирование скорости электродвигателей не предусмотрено. Производительность вентилятора ГВУ регулируется изменением угла установки лопаток направляющего аппарата (НА). Однолинейная структурная схема нерегулируемого электропривода ГВУ показана на рис. 2.

Определим расчетные параметры электропривода, воспользовавшись аэродинамическими характеристиками вентилятора ВЦД-47У-Н с нерегулируемым приводом и ВЦД-47У-Р с регулируемым приводом (Рис. 1).

Нормальная работа рудной шахты обеспечивается при производительности вентилятора $Q_н$=325 м³/с и депрессии $H_н$=3750 Па за счет увеличения угла поворота лопаток НА до 53˚. При указанной производительности и депрессии ГВУ работает продолжительное время.

После проведения массового взрыва для проветривания шахтного поля вентилятор переводят на максимальную производительность, т.е. направляющий аппарат открывают полностью (угол поворота лопаток направляющего аппарата Q = 0˚). Производительность и депрессия в режиме проветривания ориентировочно равны $Q_п$ = 427 м^3/с, $H_п$ = 5800 Па. В данном режиме ГВУ работает от 16 до 20 часов (в зависимости от условий проветривания).

Наложив аэродинамическую характеристику нагрузки на аэродинамические характеристики вентилятора при нерегулируемом и регулируемом электроприводе (Рис. 1), найдем зависимости мощности на валу вентилятора при регулировании производительности (Q) за счет изменения угла поворота лопаток НА ($P_{НА}$) и изменения оборотов вала вентилятора ($P_{об}$), а также разницу мощностей на валу вентилятора при двух способах регулирования $\Delta P = P_{НА} - P_{об}$. Результаты этих вычислений приведены в Таблице 1.



а б

Рис. 1. Аэродинамические характеристики вентиляторной установки ВЦД47У
а — с нерегулируемым приводом при **n** = 495 об/мин и различных углах установки НА;
б — с регулируемым приводом, изменяющим обороты вала вентилятора.

Таблица 1

Производительность Q, м³/с	225	250	275	300	325	350	375	400	425
Мощность вала $P_{НА}$, кВт	1750	1763	1813	1875	2030	2100	2250	2500	2920
Мощность вала Роб, кВт	588	750	963	1188	1510	1713	2000	2388	2920
Разность мощностей ΔР, кВт	1163	1013	850	688	520	388	250	113	0

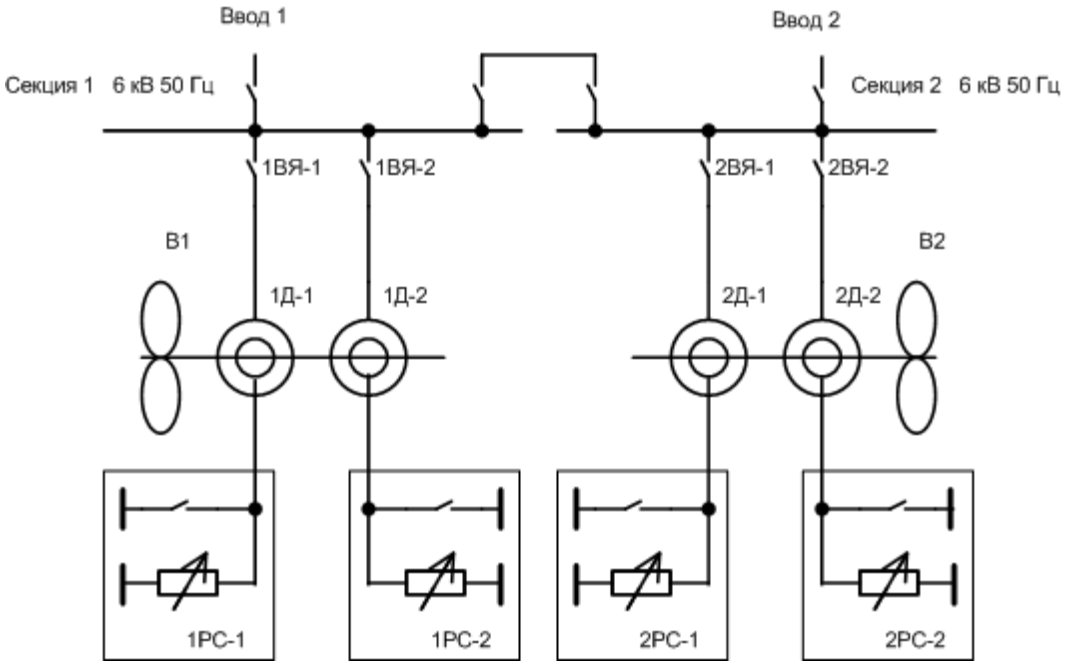


Рис. 2. Однолинейная структурная схема нерегулируемого электропривода ГВУ

Анализ данных Таблицы 1 показывает, что в нормальном режиме работы ГВУ при производительности $Q_н$ = 325 м³/с электродвигатели вентилятора с нерегулируемым электроприводом обеспечивают мощность на валу вентилятора $P_{НА}$ = 2030 кВт, а с регулируемым электроприводом $P_{об}$ = 1510 кВт, что на 520 кВт меньше мощности $P_{НА}$ нерегулируемого электропривода. При средней продолжительности работы ГВУ в год

$$П = 320 * 24 = 7680 \text{ часов}$$

непроизводительные затраты электроэнергии ($N_{нз}$) в нормальном режиме работы ГВУ при регулировании производительности за счет изменения угла поворота лопаток НА по сравнению с регулированием производительности за счет изменения оборотов вала вентилятора составляют

$$N_{нз} = ΔP * П = 520 * 7680 = 3\,993\,600 \text{ кВтчас},$$

что в денежном выражении при стоимости 1 кВтчас в Белгородской области 2,31 рублей составляет сумму

$$C_{нз} = 3\,993\,600 * 2{,}31 = 9\,225\,216 \text{ рублей}.$$

Установив регулируемый электропривод на вентиляторах ГВУ шахты можно снизить годовые энергозатраты на величину $N_{нз}$ за счет перевода ГВУ с регулирования производительности изменением угла поворота лопаток НА на регулирование оборотов вала вентилятора при полностью открытом направляющем аппарате и экономить более 9 млн. рублей в год.

Как указывалось выше, в качестве приводных электродвигателей вентилятора ВЦД47У ГВУ шахты используются асинхронные электродвигатели с фазным ротором (АД ФР). В качестве электропривода для регулирования скорости вала асинхронного электродвигателя с фазным ротором целесообразно использовать преобразователь частоты, который устанавливается между цепью ротора электродвигателя и питающей сетью, и осуществляет регулирование скорости за счет регулирования мощности скольжения с минимальными потерями. Такой преобразователь частоты имеет существенно меньшую цену по сравнению с преобразователем частоты в статоре электродвигателя из-за существенно меньшего напряжения ротора и меньшей мощности скольжения при вентиляторной нагрузке. Структурная схема электропривода с преобразователем частоты (ПЧ) в роторе электродвигателя показана на рис. 3.

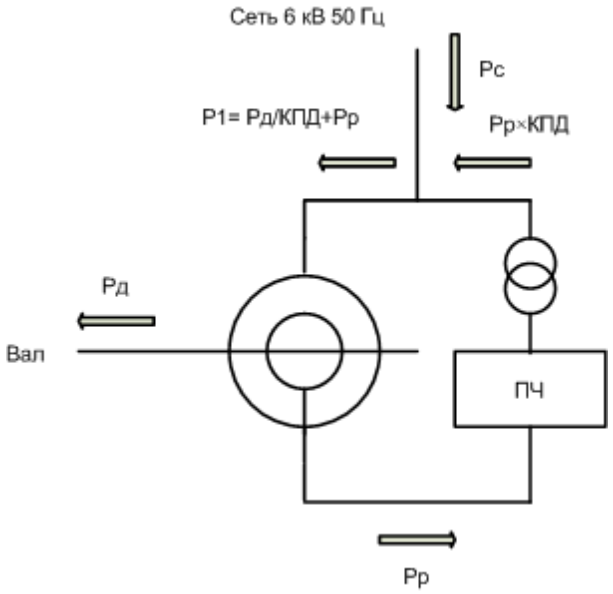


Рис. 3. Структурная схема электропривода с ПЧ в роторе электродвигателя

Электропривод с преобразователем частоты в роторе электродвигателя может работать в двигательном и тормозном режимах. В двигательном режиме преобразователь частоты должен обеспечивать возврат мощности скольжения из ротора асинхронного электродвигателя в питающую сеть. Направления потоков мощности в этом режиме показаны на рис. 3. Возврат мощности скольжения в питающую сеть обеспечивает значительную экономию электроэнергии при пуске и регулировании скорости асинхронных электродвигателей с фазным ротором по сравнению с реостатным регулированием скорости АД ФР.

Для обеспечения режима рекуперативного торможения электропривода направление потока мощности в роторе электродвигателя ($P_р$) необходимо изменить на противоположное по сравнению с направлением, показанным на рис. 3. При этом момент электродвигателя изменит знак, и двигатель перейдет в режим рекуперативного торможения. Возврат энергии маховых масс нагрузки в питающую сеть за счет режима рекуперативного торможения позволяет уменьшить потери электроэнергии и уменьшить время торможения установки.

Каждый вентилятор ВЦД-47У приводится в движение двумя асинхронными электродвигателями с фазным ротором типа АКН2-18УЗ (1600 кВт, 6 кВ, 495 об/мин, номинальный ток ротора 1150А, линейное напряжение ротора 850В). При этом преобразователь частоты в цепи ротора электродвигателя должен быть рассчитан на пусковое напряжение ротора 850В и номинальный ток ротора 1150А. Такой преобразователь частоты типа «ЭРАТОН-ФР-1600-1150-850» разработан ЗАО «ЭРАСИБ» на базе транзисторного автономного инвертора напряжения (АИН) с синусоидальной широтно-импульсной модуляцией на оригинальных компонентах фирм MITSUBISHI, EPCOS, MOTOROLA.

Однолинейная структурная схема электропривода с преобразователями частоты в роторе электродвигателей АКН2-18УЗ для регулирования скорости вентилятора ВЦД47У показана на рис. 4. В цепи ротора каждого электродвигателя включен преобразователь частоты типа «ЭРАТОН-ФР-1600-1150-850». Преобразователь частоты в роторе одного электродвигателя содержит два транзисторных автономных инвертора напряжения. Трехфазная цепь одного инвертора напряжения подключена к ротору электродвигателя (роторный инвертор), а второго инвертора (сетевой инвертор) – к вторичной обмотке согласующего трансформатора через «синусный» силовой LC-фильтр. Цепи постоянного тока роторного и сетевого инвертора соединены друг с другом и подключены к накопительным конденсаторам относительно большой емкости, образуя тем самым промежуточное звено постоянного тока. Каждый инвертор (роторный и сетевой) управляется по закону синусоидальной широтно-импульсной модуляции, что обеспечивает

синусоидальную форму тока в роторе электродвигателя и в питающей сети. За счет последовательного соединения двух инверторов напряжения с промежуточным звеном постоянного тока преобразователь частоты в цепи ротора обеспечивает двухсторонний обмен энергией между цепью ротора электродвигателя и питающей сетью. За счет введения регулируемой противоЭДС в цепь ротора осуществляется регулирование тока ротора и момента электродвигателя, а также регулирование величины и направления потока активной мощности в цепи ротора электродвигателя. При этом осуществляется регулирование скорости вала электродвигателя в широком диапазоне от нуля до номинальной скорости. Изменение направления потока мощности в роторе электродвигателя также позволяет работать в режиме рекуперативного торможения с возвратом энергии вращающихся масс в питающую сеть.

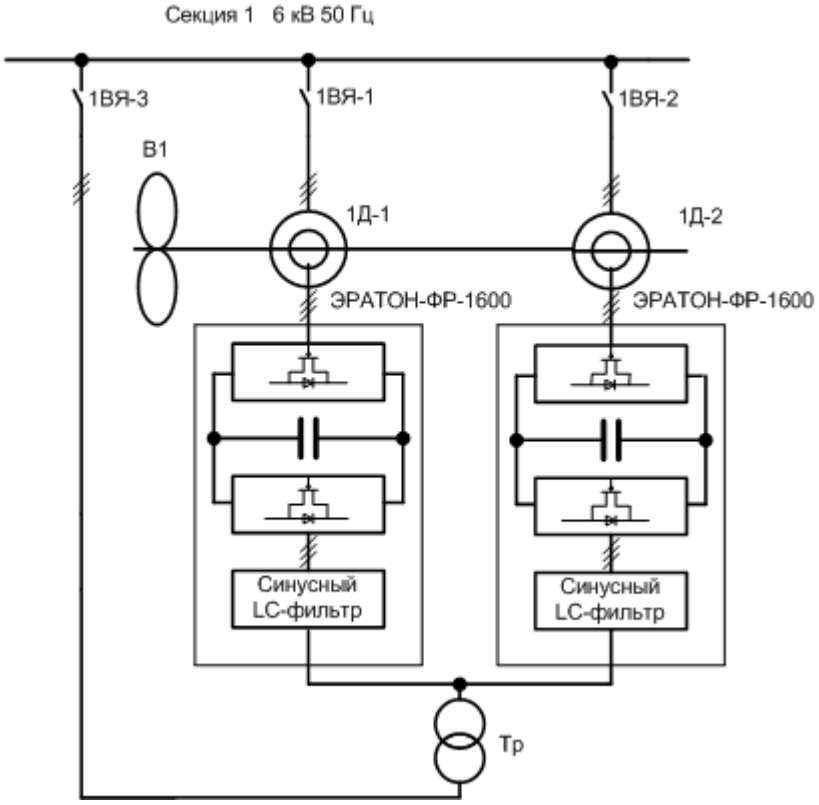


Рис. 4. Однолинейная структурная схема электропривода вентилятора с ПЧ «ЭРАТОН-ФР»

ПЧ «ЭРАТОН-ФР» выполнены на базе транзисторных инверторов напряжения, в которых коммутация транзисторов не зависит от напряжения питающей сети. Это существенно повышает надежность работы электропривода за счет исключения возможности возникновения аварийных режимов опрокидывания инвертора, ведомого сетью, которые возможны в тиристорных преобразователях частоты.

Преобразователи типа «ЭРАТОН-ФР» не потребляют из сети и от ротора электродвигателя реактивную мощность, напротив, могут работать в режиме генерирования в сеть и в ротор электродвигателя реактивной мощности из накопительных конденсаторов, установленных в звене постоянного тока инверторов напряжения. Это позволяет разгрузить подводящие кабели и трансформаторы от реактивных токов.

Преобразователи частоты типа «ЭРАТОН-ФР» разработаны для использования в многодвигательных электроприводах и обеспечивают выравнивание загрузки двигателей по току и моменту на этапе запуска электропривода и при работе в установившемся режиме.

Таким образом, электропривод на базе ПЧ типа «ЭРАТОН-ФР-1600-1150-850» позволяет обеспечить регулирование производительности вентилятора ГВУ за счет регулирования скорости вала вентилятора в требуемом диапазоне с минимальным потреблением электроэнергии из питающей сети и при высоком качестве потребляемой электроэнергии.

Достижимые параметры электроэнергии электропривода на базе ПЧ «ЭРАТОН-ФР-1600-1150-850» с возбуждением электродвигателей по цепи ротора представлены в Таблице 2. При возбуждении АД ФР по цепи ротора в пределах допустимого тока ротора ток статора АД ФР имеет минимальные значения при регулировании производительности ГВУ.

Таблица 2

Производительность ГВУ Q, м³/с	140	225	250	275	300	325	350	375	400	425
Скорость вала, об/мин	200	290	315	340	365	390	415	440	465	495
Мощность вала Рд1, кВт	112	294	375	481	594	755	856	1000	1194	1460
Мощность статора Рс1, кВт	295	532	626	744	855	1018	1085	1196	1351	1552
Ток статора АД Iс1, А	29	64	76	91	105	123	133	146	162	181
Активная мощность Тр, кВт	335	424	439	451	438	424	349	272	179	29
Полная мощность Тр, кВА	335	424	439	451	438	424	349	272	179	29
Первичный ток Тр, А	32	40	42	43	42	40	33	26	17	3

На рис. 5 изображена однолинейная структурная схема электропривода для ГВУ с двумя вентиляторами ВЦД47У на базе преобразователей частоты типа «ЭРАТОН-ФР-1600-1150-850» производства ЗАО «ЭРАСИБ». В электроприводе ГВУ используется два преобразователя частоты ЭРАТОН-ФР-1600-1150-850, которые подключаются к роторам двух электродвигателей, приводящих во вращение работающий вентилятор, с помощью контакторов. В резервном вентиляторе преобразователь частоты не предусмотрен с целью снижения затрат на модернизацию установки. При необходимости включения второго вентилятора вместо первого преобразователи частоты отключаются от роторов электродвигателей первого вентилятора и подключаются к роторам электродвигателей второго вентилятора при остановленной ГВУ. Такое решение целесообразно при сохранении в горячем резерве пусковых резисторных станций и системы регулирования производительности вентиляторов с помощью направляющих аппаратов.

Выводы:

1. Регулируемый электропривод центробежного вентилятора ВЦД47У позволяет экономить значительную величину электроэнергии при регулировании производительности за счет изменения оборотов вала при полностью открытом направляющем аппарате.

2. Экономию потребляемой электроэнергии с минимальными первоначальными затратами обеспечивает электропривод с преобразователем частоты в цепи ротора приводных асинхронных электродвигателей с фазным ротором. Это объясняется существенно меньшим напряжением ротора электродвигателя по сравнением с напряжением статора, а также меньшим значением мощности скольжения ротора, подлежащей преобразованию роторным преобразователем частоты, по сравнению с мощностью статора электродвигателя, подлежащей преобразованию статорным преобразователем частоты, что существенно отражается на цене.

3. В качестве роторного преобразователя частоты целесообразно использовать транзисторный преобразователь частоты на базе автономного инвертора напряжения, который производится ЗАО «ЭРАСИБ» под маркой «ЭРАТОН-ФР».

4. Регулируемый электропривод на базе транзисторного преобразователя частоты типа «ЭРАТОН-ФР» производства ЗАО «ЭРАСИБ» имеет определенные преимущества перед электроприводом на базе тиристорных преобразователей частоты за счет

- снижения потребления реактивной мощности электроприводом;
- исключения потребления мощности искажения электроприводом;
- повышения надежности электропривода.

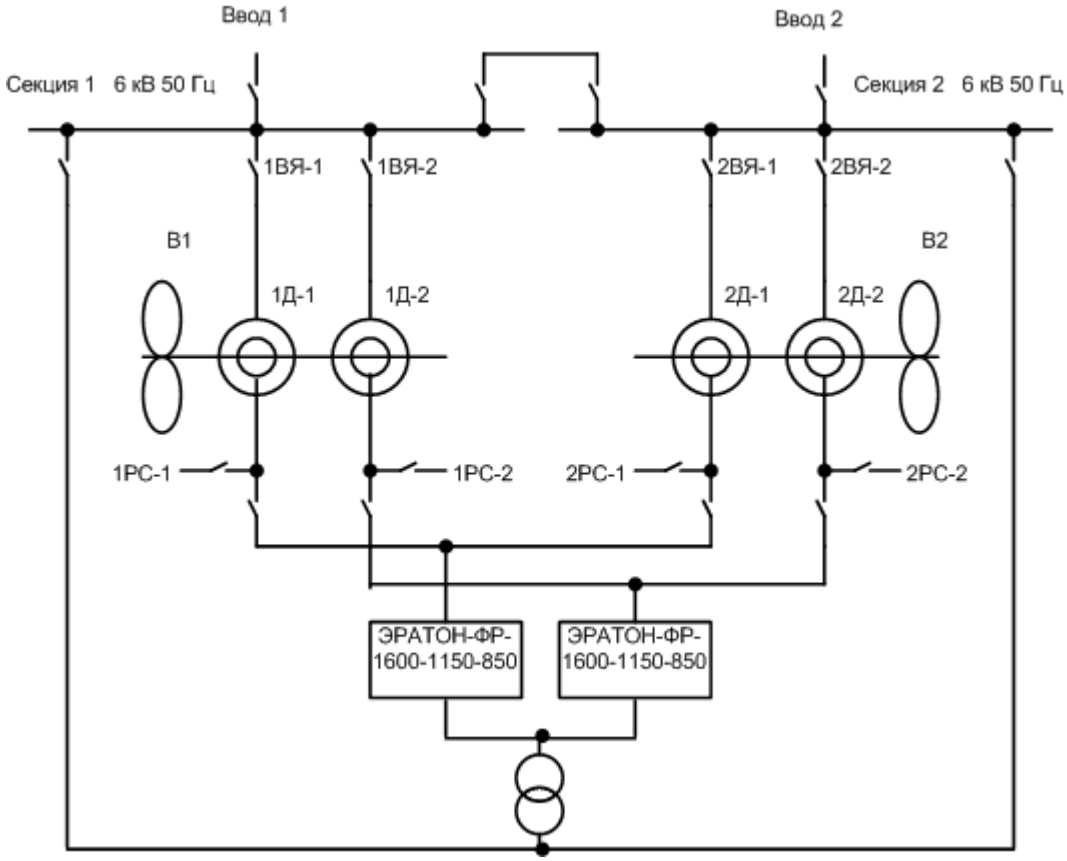


Рис. 5. Однолинейная структурная схема электропривода ГВУ с двумя вентиляторами