

УДК 622.232.7

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ВНУТРЕННЕЙ ЕМКОСТИ IGBT ТРАНЗИСТОРОВ НА НАГРЕВ ЧАСТОТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА

Кудлай Р.А., Мезников А.В., инженеры,
Стадник Н.И., докт. техн. наук., Донгипроуглемаш

Исследованы причины нагрева преобразователей частоты очистных комбайнов, построенных на высоковольтных IGBT модулях и предложен способ снижения тепловых потерь в преобразователе

The reasons of frequency converter heating of shearers built on IGBT high-voltage modules are investigated and the way to reduce a heat loss in the converter is suggested.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Очистные комбайны нового поколения (КБТ, УКД300, КДК500, КДК600, КДК700) оснащены частотно-регулируемым приводом подачи с частотным преобразователем, построенным на базе специализированных высоковольтных силовых полупроводниковых IGBT модулях фирмы E. В процессе эксплуатации данного привода выяснилось, что отмеченные модули выделяют повышенное количество тепла по сравнению с модулями, работающими в преобразователях на низких напряжениях (380/660В) особенно в режиме холостого хода, что снижает показатели надежности и долговечности преобразователей. Исследование причин нагрева и подготовка рекомендаций к системе охлаждения для преобразователей построенных на таких модулях является актуальной научно технической задачей.

Анализ исследований и публикаций. В зарубежных комбайнах в качестве бортового привода применяют машины постоянного тока или частотно-регулируемый (ЧР) привод с понижающим входным трансформатором, так как используются ЧР приводы с номинальным питающим напряжением 400/690В. Однако, несмотря на хорошие габаритно-массовые показатели ЧР привода, применение понижающего трансформатора приводит к увеличению длины комбайна.

С целью уменьшения габаритов блока подачи комбайна КДК500, был разработан преобразователь частоты ПЧЭ-120, с номинальным питающим напряжением 1140В[1], что позволило на ком-

байне применить ЧР привод без входного понижающего трансформатора, обеспечив при этом привод подачи с удовлетворительными габаритно-массовыми показателями.

В качестве силовых полупроводниковых элементов в преобразователе использовались первые образцы IGBT модулей фирмы E., состоящие из двух транзисторов с максимальным током 400А и предельно допустимым напряжением 3300В (предназначенные для построения преобразователей с номинальным выходным напряжением 1000...1500В).

Для охлаждения силовых элементов преобразователя в его основании располагалась медная плита, на которой были установлены IGBT модули, охлаждение данных элементов обеспечивалось охлаждаемой стенкой электроблока, на которую крепилась плита охлаждения преобразователя.

Опыт эксплуатации преобразователей ПЧЭ-120 показал его повышенные тепловые потери, что потребовало для обеспечения его безотказной работы изменения конструкции его системы охлаждения.

Экспериментальные исследования проведенные на низковольтном преобразователе частоты «АС Вектор» (Uпит=380В, Pвых=90кВт) в условиях Криворожского предприятия ООО «Семиол» показали крайне незначительное выделение тепла в силовых модулях преобразователя при его работе на холостом ходу.

Постановка задачи. В работе поставлена и решена задача выявления причин повышенных тепловых потерь в преобразователе частоты ПЧ-120 и предложены пути снижения температуры силовых модулей.

Изложение материала и результаты. С целью выявления причин повышенных тепловых потерь в преобразователе ПЧЭ-120, были проведены исследования режимов работы элементов преобразователя частоты.

Были произведены замеры сквозных токов через силовой модуль состоящий из двух IGBT транзисторов. При этом преобразователь работал без двигателя, входное напряжение составляло 1140В, выходное напряжение 0В, выходная частота 0Гц, осциллограмма приведена на рис. 1.

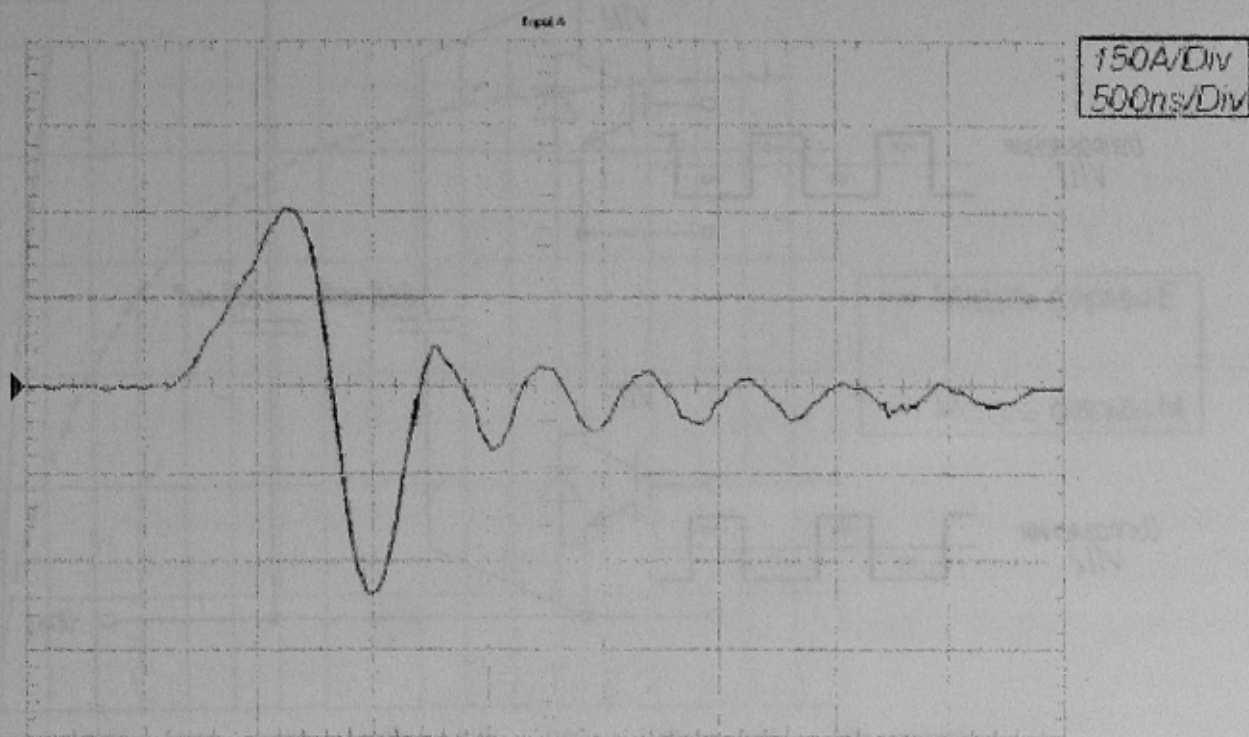


Рисунок 1 – Осциллограмма сквозного тока через IGBT модуль при работе преобразователя без двигателя

Наличие таких токов, должно приводить к активному выделению тепла IGBT модулями при работе преобразователя даже на холостом ходу.

Для определения мощности потерь на модуле были произведены температурные испытания. Для чего один модуль инвертора был снят с охлаждающей плиты и закреплен вверх подложкой (без охлаждения), в центре поверхности подложки закреплен температурный датчик. Транзисторы модуля по очереди открывали с частотой 2,5кГц, для гарантированного устранения состояния, при котором оба транзистора могут быть открыты вводилась пауза 15мкс. В качестве управляющего сигнала использовались импульсы с амплитудой $\pm 15\text{В}$, частотой 2,5кГц и паузой при переключении 15 мкс, для минимизации потерь импульсы имеют крутые фронты. Схема включения модуля во время эксперимента приведена на рис. 2., осциллограмма управляющих импульсов приведена на рис. 3.

Кривая нагрева модуля при работе без нагрузки и различных режимах переключения транзисторов представлена на рисунке 4 (температура окружающей среды составляла 23°C).

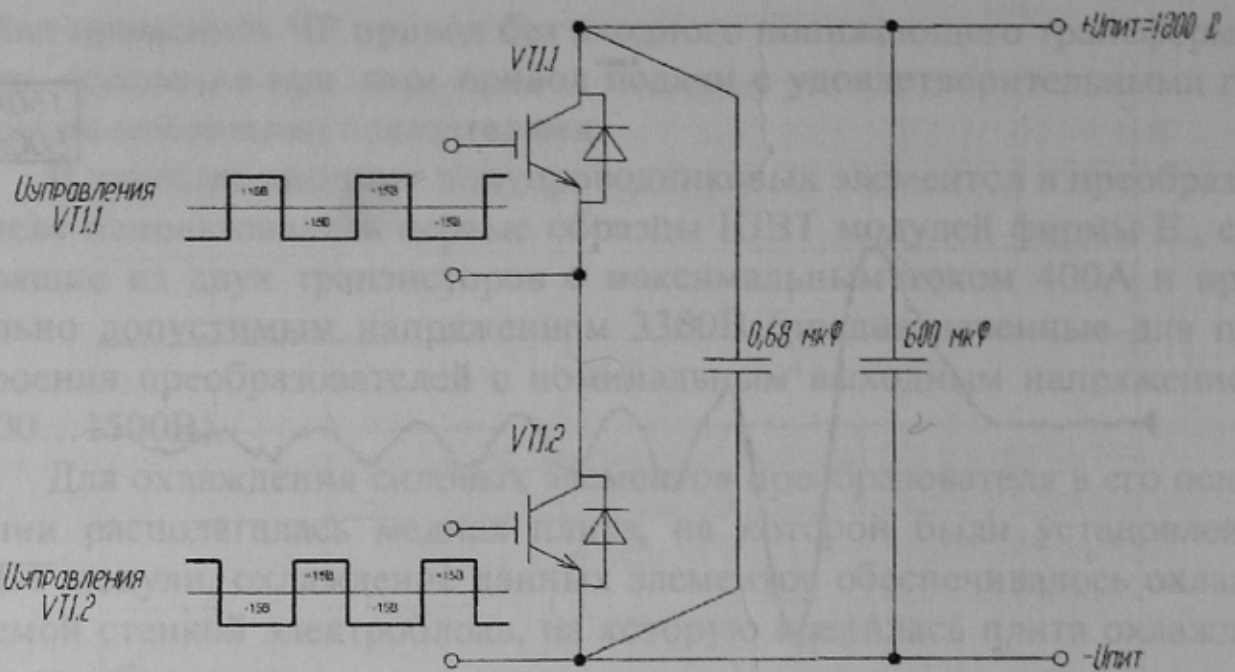


Рисунок 2 – Схема включення модуля при проведенні експеримента

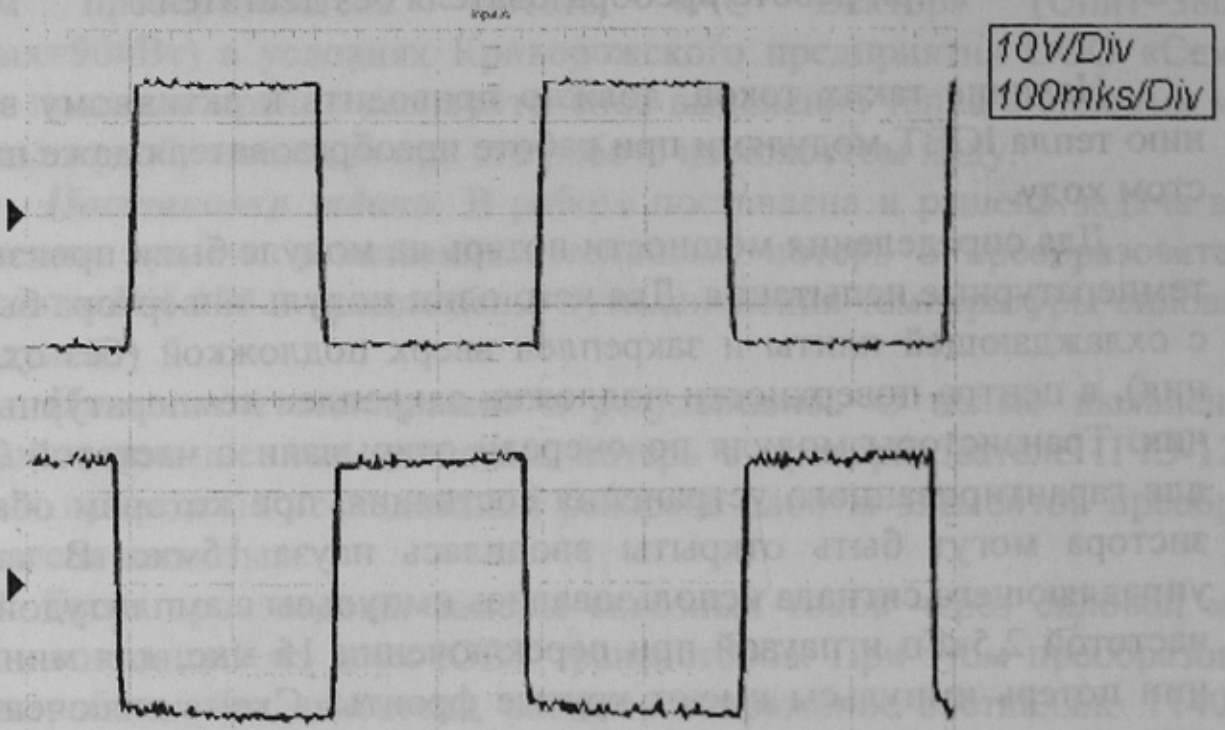


Рисунок 3 – Осцилограма управляючих імпульсів IGBT модуля

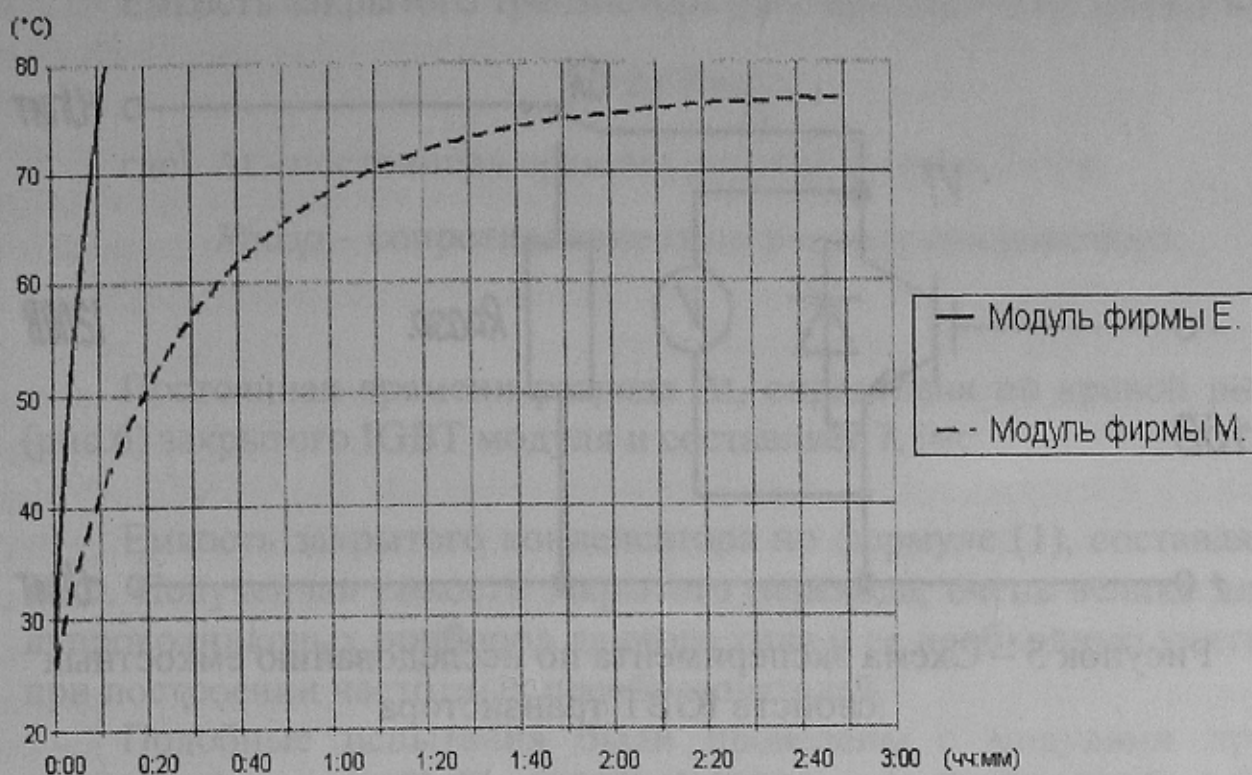


Рисунок 4 – Диаграмма изменения температура модулей фирмы E. и M. при отсутствии охлаждения и нагрузки на выходе преобразователя

Исходя из рисунка 4 видно, что при работе модуля фирмы E. без нагрузки, он действительно активно выделяют тепло, что подтверждает наличие больших токов через IGBT транзисторы инвертора.

Такие же замеры были выполнены на аналогичном модуле фирмы M. (2 IGBT транзистора с максимальным током 400А и предельно допустимым напряжением 3300В), кривые также представлены на рис. 4.

Последний модуль показал себя значительно лучше, однако и он обладает большими тепловыми потерями при работе без нагрузки.

На наш взгляд эти токи могут быть вызваны внутренней емкостью транзистора между коллектором и эмиттером.

Для подтверждения наличия этой емкости был проведен следующий эксперимент: закрыли транзистор (подали на затвор напряжение -15В), затем его зарядили до напряжения 1200В, после чего посредством переключателя SA отключили IGBT от источника питания и разрядили транзистор на резисторе с сопротивлением 124 Ом (схема эксперимента приведена на рис.5, кривая разряда на рис.6).

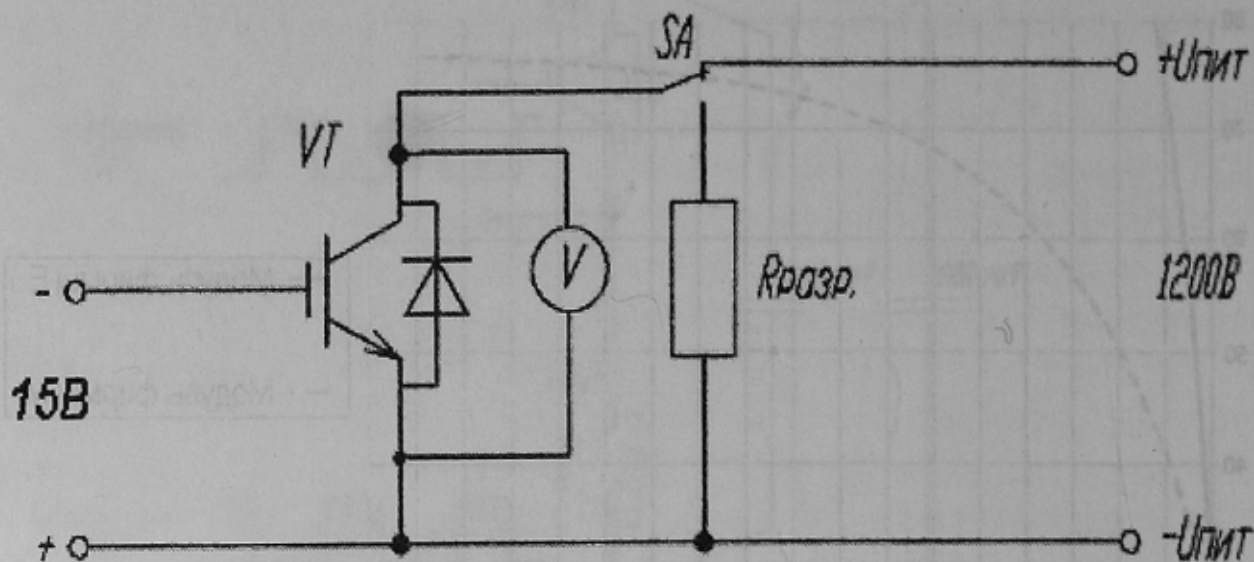


Рисунок 5 – Схема експерименту по дослідженню ємкостних властивостей IGBT транзистора



Рисунок 6 – Осциллограмма разряда IGBT транзистора на $R_{разр}=124 \text{ Ом}$

Емкость закрытого транзистора рассчитывается по формуле:

$$C = \Delta t / R_{\text{разр}}, \quad (1)$$

где Δt - постоянная времени разряда конденсатора;

$R_{\text{разр}}$ – сопротивление цепи разряда конденсатора.

Постоянная времени разряда Δt , определена по кривой разряда (рис.6) закрытого IGBT модуля и составляет 7,5мс.

Емкость закрытого конденсатора по формуле (1), составляет 60 мкФ. Полученная емкость закрытого перехода, очень велика для полупроводниковых приборов данного типа и ее необходимо учитывать при построении частотных преобразователей.

Подобные испытания были проведены с модулями другого класса и фирм: ф. Si.(U -1200В, I-400А) и ф. Se.(U-1200В, I-220А), внутренняя емкость этих модулей составила менее 2нФ. Такая емкость характерна для большинства низковольтных IGBT и MOSFET транзисторов. При проведении температурных испытаний модуля фирмы Si. без нагрузки, установившаяся температура подложки составила 31°C, что также свидетельствует о нормальных тепловых потерях на транзисторе.

Из выше описанного видно, что IGBT модули класса 3,3 кВ обладают паразитной внутренней емкостью, которая вызывает большие тепловые потери в модуле при переключении, что приводит к снижению КПД преобразователя и вызывает нагрев кристаллов транзисторов, при работе даже без нагрузки.

Так как основные тепловые потери при работе преобразователя с выходной частотой 0Гц происходят при переключении транзисторов, то с целью устранения данных потерь имеет смысл закрыть транзисторы на период простоя преобразователя. Кроме того, работа преобразователя при нулевой выходной частоте, вызывает сильные электромагнитные помехи, что нарушает работу электронных систем, работающих совместно с преобразователем. Так закрытие силовых модулей при простое на преобразователе ПЧЭ-120 снизило тепловые потери преобразователя на 1,5 кВт, повысило отказоустойчивость работы системы управления очистным комбайном.

Для улучшения эффективности охлаждения IGBT модулей и повышения надежности работы преобразователя частоты, была разработана новая система охлаждения преобразователя с непосредственным охлаждением силовых модулей: IGBT модули установили на медную плиту, внутри которой расположены каналы для пропускания через плиту охлаждающей жидкости. Для улучшения теплового контакта модуль-плита, перед установкой модулей, плита покрывается тонким слоем теплопроводной пасты.

Выводы и направление дальнейших исследований. На основании выше изложенного материала можно сделать вывод, что модули класса 3,3 кВ обладают большими внутренними (паразитными) емкостями, которые вызывают их сильный нагрев, снижают КПД преобразователей, построенных на их базе, что приводит к снижению надежности и эффективности работы частотного привода, выполненного на данных элементах. Для обеспечения надежной работы таких преобразователей необходимо построение эффективной непосредственной системы охлаждения IGBT модулей, запирающие силовых модулей преобразователя при его работе на нулевой частоте.

Так первый опыт эксплуатации очистных комбайнов с использованием частотно-регулируемого привода в блоках подачи показал перспективность этого решения, однако и выявил ряд проблем и вопросов, требующих дальнейших исследований.

Для рационального проектирования системы охлаждения преобразователя, в дальнейшем целесообразно установить зависимость между паразитной емкостью коллекторно-эмиттерного перехода IGBT транзистора и выделяемой им тепловой энергией при работе в различных режимах, а так же установить влияние этой емкости на работу привода в целом.

Список источников

1. Стадник Н.И., Сергеев А.В. Электрический привод подачи очистного комбайна для тонких пластов // Материалы международной конференции "Форум горняков - 2005", том 4. – Донецк: НГУ, 2005. – 258 с.

Дата поступления статьи в редакцию: 27.04.07