



УДК 621.3.01:519.876.5

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫБОРА СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Корнус Т.М., инженер,
Логвин К.А.,
Добров Б.С.,
Закуцкая В.О.

Запорожский национальный технический университет

Тел: 068 452 32 29

Аннотация - Разработана структура системы автоматизированного выбора силовых полупроводниковых приборов (СПП) для преобразовательных устройств широкого назначения по карте режимов СПП с учетом определяющих технико-экономических показателей. Формализованы алгоритмы выбора СПП и проверки их работоспособности при заданных режимах технологических перегрузок и аварийных режимах. Апробирован разработанный на основе данных алгоритмов пакет программ на языке С++

Ключевые слова: СПП, алгоритм, блок-схема, преобразователь, перегрузка, авария

Постановка проблемы. Правильное и рациональное применение силовых полупроводниковых приборов (СПП) в мощных преобразовательных установках является важнейшим вопросом проектирования, определяющим технико-экономические показатели преобразователя, поскольку типонаминал СПП определяет выбор способов и аппаратуру защиты от сверхтоков и перенапряжений, распределения токов и напряжений при групповом соединении устройств, а также тип, конструкцию и параметры системы охлаждения, причем СПП является дорогостоящим и, одновременно, наиболее уязвимым элементом преобразователя с точки зрения устойчивости прибора к сверхтокам и сверхнапряжениям.

Анализ последних исследований. В настоящее время существует целый ряд методик расчета выбора и проверки работоспособности СПП для силовых блоков преобразовательных установок, разработанных в различных научных проектно-исследовательских организациях, ориентированных на преобразовательные устройства конкретного функционального назначения, причем во главу угла ставились



лишь технические параметры устройства, без учета его экономических показателей. В данной разработке за основу принята универсальная методология, где исходными данными для расчета является карта режима работы СПП в конкретной проектируемой установке с учетом определяющего технико-экономического показателя [1]. Весь процесс выбора и проверки типоминимала СПП требует больших затрат времени при высокой квалификации инженера-разработчика

Постановка задания. Целью данной работы является построение концепции системы автоматизированного выбора СПП и формализованных алгоритмов для компьютерных расчетов по выбору и проверке работоспособности выбранного прибора.

Основная часть. Процесс расчета выбора СПП носит итерационный и рекурсивный характер, поэтому в решении задачи существует несколько точек проверки правильности заданных предпосылок для расчёта и полученных решений и, если условия контроля правильности не выполняется, возможно возвращение на один или несколько этапов назад, вплоть до начала расчета и изменения исходных данных. Для автоматизации расчета требуется разработать формализованную логику расчета и его математическую модель в интерактивном режиме.

Методы «ручного счета» трудоемкие и длительные, поэтому приходится прибегать к целому ряду предположений и упрощений, без которых «ручной» расчет может быть вообще невозможен. Это сокращает объем вычислений, но, с другой стороны, значительно усложняет структуру алгоритма расчета. Формализуя задачу выбора СПП для компьютерного расчета, целесообразно упростить алгоритм не прибегая к предположениям и упрощениям, принятым в методике «ручного счета». Такой подход одновременно позволяет увеличить и точность расчёта.

Структурная схема комплекса программ автоматизированного выбора СПП приведена на рис.1.

Расчёт состоит из четырех частей:

- 1 – предварительный выбор СПП;
- 2 - проверка СПП по рабочему току (неизменяющемуся и изменяющемуся);
- 3 - расчет аварийных токов;
- 4 - проверка СПП по аварийному току.

В структуру комплекса также входит база данных классификационных параметров и характеристик СПП, заданными координатами их узлов интерполяции. Для получения в процессе расчёта координат нужной точки характеристики используется математический аппарат сплайновой интерполяции.

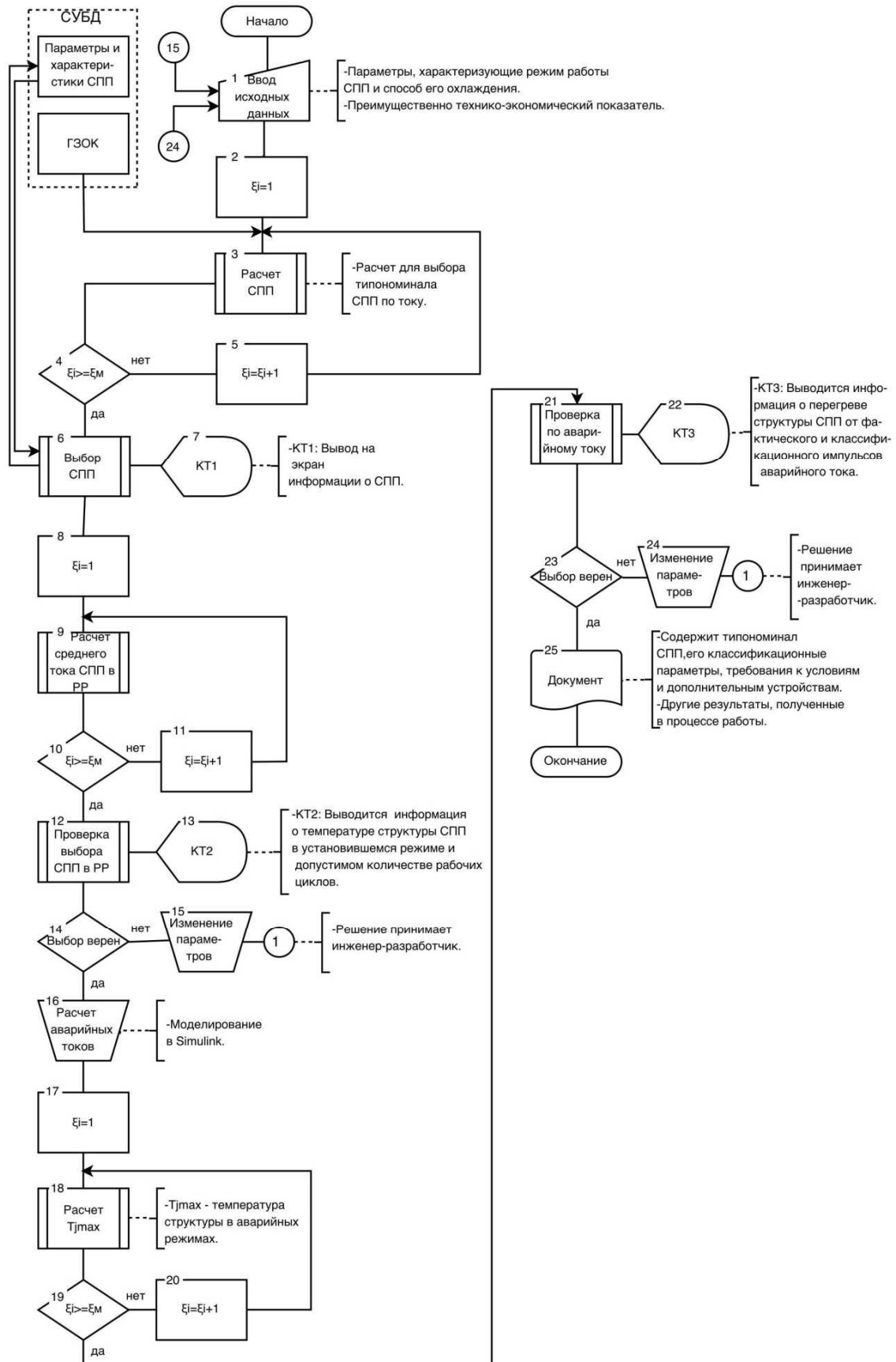


Рис. 1. Блок-схема алгоритма расчета выбора и проверки СПП



Выбор типа СПП и условий его охлаждения проводят по расчетному среднему току I_{AV} , соответствующему фактическому току СПП, приведенному к классификационным условиям. Классификационными условиями, приведёнными в информационных материалах, являются: однополупериодная синусоидальная форма тока, угол проводимости $\beta=\pi$, частота импульсов $f=50\text{Гц}$, температура охлаждающей среды $T_{cf}=40^\circ\text{C}$, определенный тип охладителя и скорость охлаждающей среды. Приведение к классификационным условиям является выполнением расчетов в соответствии с математической моделью, позволяющей определить такой ток I_{AV} , при котором среднее превышение температуры структуры СПП ΔT_j будет таким же, как и для – классификационного значения тока $I_{T(AV)}$.

Расчет проводится для всех заданных режимов работы ζ_M преобразователя с неизменным и изменяющимся рабочим током. При правильном выборе СПП по току должно выполняться условие

$$I_{AVmax} \approx I_{T(AV)},$$

где I_{AVmax} - расчетный средний ток I_{AV} для наиболее тяжелого по току режиму работы СПП.

Выбор СПП по максимальному повторяющемуся и неповторяющемуся обратному напряжению U_{RRM} и U_{RSM} проводится исходя из компромисса между запасом СПП по фактическому значению неповторяющегося U_{SM} и повторяющегося напряжения U_{RM} и массогабаритными показателями устройств ограничения напряжения.

Выбранный СПП и его система охлаждения должны быть проверены по температуре нагрева перехода T_j рабочим током и допустимой температурой циклирования $T_{j\chi}$.

Тип СПП и условия его охлаждения выбраны правильно по току рабочего режима, если выполняются следующие условия:

$$T_j \leq \psi_T \cdot T_{jmax}, \quad (1)$$

$$\sum_{x=1}^{\varepsilon} \frac{N_{\chi x}}{N_{\chi x \max}} \leq \Psi_N, \quad (2)$$

где T_{jmax} – максимальная допустимая температура перехода в рабочем режиме;

$N_{\chi x}$, $N_{\chi x \max}$ – требуемое и максимально допустимое число температурных циклов работы СПП соответственно в χ -м циклическом режиме при температуре $\Delta T_{j\chi}$ (χ изменяется от 1 до ε , где ε - общее число отличных друг от друга по



температуре циклических режимов работы СПП за срок службы);

ψ_T, ψ_N – коэффициенты запаса.

Температура структуры СПП в рабочем режиме определяется следующим образом:

$$T_j = T_{cf} + \Delta T_j, \text{ или} \quad (3)$$

$$T_j = T_{cf} + \Delta T_j + \frac{\Delta T_{ji} - \Delta T_{jki}}{2}, \quad (4)$$

где T_{cf} – максимальная температура охлаждающей среды,
 ΔT_j – максимальная температура перегрева перехода в рабочем режиме (средняя), т.е. без учета колебаний температуры, связанных с импульсным характером тока через СПП,
 $\Delta T_{ji}, \Delta T_{jkl}$ – температура нагрева СПП единичным импульсом тока, имеющем место в конце расчетного интервала τ_p и единичным импульсом классификационного тока при заданной температуре корпуса СПП соответственно.

Если условия (1) и (2) выполняются, но правые и левые части значительно отличаются, то надо либо уменьшить скорость охлаждающей среды, либо выбрать другой охладитель и повторить расчет. Если неравенства (1) и (2) не выполняются, то необходимо либо увеличить интенсивность охлаждения, либо выбрать СПП с большим допустимым током, либо увеличивают число параллельных СПП в плече преобразователя. Расчет выбора и проверки СПП повторяется с новыми исходными данными.

Выбор СПП по рабочему току не дает окончательного ответа о правильности выбора СПП, поэтому следующим этапом должна быть проверка прибора по аварийному току.

Аварийные токи преобразователя можно рассчитать с помощью универсальных либо специализированных программ анализа электромагнитных процессов в преобразовательных устройствах. В данной работе использовался пакет программ MATLAB-SIMULINK.

Кривые аварийного тока аппроксимируются ступенчатой кривой, для которой рассчитывается максимальная температура перегрева структуры СПП ΔT_{js1} на интервале протекания фактического аварийного тока и, если в момент, когда к СПП вслед за импульсом аварийного тока прикладывается обратное напряжение, рассчитывается еще и ΔT_{js2} (температура перегрева структуры СПП в момент приложения обратного напряжения), используя функции переходного теп-



лового сопротивления $Z_{(th)tja}$ и $Z_{(th)tjc}$, заданные их узлами интерполяции. По такому же алгоритму рассчитывается максимальная температура перегрева структуры СПП T_{jsmax1} и T_{jsmax2} для классификационного импульса аварийного тока. Для сохранения работоспособности СПП необходимо выполнение условий:

$$\Delta T_{js1} \leq \psi_T \cdot \Delta T_{jsmax1}, \quad (5)$$

$$\Delta T_{js2} \leq \psi_T \cdot \Delta T_{jsmax2}, \quad (6)$$

где ψ_T – коэффициент запаса по температуре.

Протекание через СПП аварийного тока со значением, равным или близким к максимально допустимому, возможно лишь ограниченное число раз за срок службы, поскольку при каждом протекании аварийного тока имеет место определенная деградация его полупроводниковой структуры. Поэтому недопустим режим, когда рабочий ток может достигать значений, равных или близких предельно допустимому току СПП в аварийном режиме.

Алгоритмы выбора и проверки работоспособности СПП реализованы и апробированы с помощью программного комплекса MATLAB – SIMULINK. В качестве примера проведен расчет тиристорного блока для реверсивного комплектного электропривода постоянного тока КТЭ 2500А/660А. Выбранный тиристор Т173-2000А проверен в режимах номинального тока и 4-х режимах технологических циклических перегрузок, оговоренных техническим заданием, и в наиболее тяжелых аварийных режимах (внутреннее к.з., внешнее к.з., срыв инвертирования, прорыв по уравнительному току). Время расчета, без учета этапа моделирования аварийных процессов во внешнем пакете MATLAB – SIMULINK и, принимая во внимание время анализа инженером-разработчиком предварительных результатов расчета в контрольных точках, примерно на 2-3 порядка меньше «ручного» счета.

В дальнейшем планируется перевод программного комплекса на язык программирования C++ с созданием интерфейса и системой управления автоматической базой данных СПП, и дальнейшая его апробация и верификация.

Выводы. Предложенная концепция построения системы автоматизированного выбора СПП для силовых блоков преобразователей позволяет значительно снизить трудоемкость и сроки проектирования. Формализованы алгоритмы выбора и проверки СПП в режимах технологических перегрузок и в аномальных режимах работы преобразовательных устройств широкого назначения.

**Список использованных источников.**

1 *М.И. Абрамович*. Диоды и тиристоры в преобразовательных установках [Текст] / *М.И. Абрамович, В.М. Бабайлов, В.Е. Либер и др.* – М. : Энергоатомиздат, 1992. – 432 с.

**СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИБОРУ СИЛОВИХ
НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПРИЛАДІВ
ДЛЯ ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК**

Корнус Т.М., Логвін К. А., Добров Б. С., Закуцька В. О.

Анотація. Розроблено структуру системи автоматизованого вибору силових напівпровідникових приладів (СНП) для перетворювальних пристроїв широкого призначення по карті режимів СНП з урахуванням визначальних техніко-економічних показників. Формалізовані алгоритми вибору СНП та перевірки їх працездатності при заданих технологічних режимах перевантажень та аварійних режимах. Апробований розроблений на основі даних алгоритмів пакет програм на мові C++

**COMPUTER-AIDED SELECTION OF POWER
SEMICONDUCTOR DEVICES FOR CONVERTING UNITS**

Kornus, T., Logwin K., Dobrov B., Zakutsky V.

Summary

The computer-aided structure for choice of power semiconductor devices (PSD) for converting units of wide range of purposes in view the map of regimes of PSD taking into account the determining technical and economic indices is developed. Algorithms for selecting PSD and checking their operability for the given modes of technological overloads and emergency modes are formalized. The software package on the basis of developed algorithms in the C++ language has been tested