

Andrzej Dreas, Radosław Gordon*

Akademia Morska w Szczecinie

Wpływ napięcia zasilania tranzystora IGBT na otrzymany sygnał emisji akustycznej

The influence of the voltage of the IGBT power supply on the acoustic emission signal received

ABSTRACT

This paper shows series of measurements and a search for method of signal processing. Sensor signal was obtained with oscilloscope in order to further process it digitally. The change of power supply voltage was also measured to estimate its influence on sensor signal.

Keywords: semiconductor, IGBT Transistor, Acoustic Emission

STRESZCZENIE

W niniejszym artykule przedstawiono serię pomiarów i poszukiwanie metody wykrywania uszkodzeń za pomocą przetwarzania sygnałów emisji akustycznej. Sygnał z czujnika obserwowano i przetwarzano za pomocą oscyloskopu i poddano obróbce cyfrowej. Celem była obserwacja wyjściowego sygnału przy zmianie napięcia zasilania, aby oszacować jego wpływ na sygnał z czujnika.

Słowa kluczowe: półprzewodniki, tranzystory IGBT, Emisja Akustyczna

1. Wstęp

Współczesna technika coraz mocniej opiera się na elektronice i jej odmianach, często uszkodzenia elementów półprzewodnikowych są ciężkie do diagnostyki. Zdarza się, że koszt zdiagnozowania urządzenia jest droższy niż wymiana całego modułu. Często też nie mamy technicznej możliwości lub dostępu do miejsc, w których możemy zmierzyć dane parametry.

Uszkodzenie danego elementu jest związane ze znacznymi kosztami związanymi z przestojem i skomplikowanym serwisem. Szybka diagnostyka lub nawet przewidywanie prawdopodobieństwa awarii danego układu zredukowałaby znacznie koszty ogólnej eksploatacji danego urządzenia.

Badania prowadzone na Akademii Morskiej w Szczecinie zmierzają do tego, aby skutecznie diagnozować układy elektroniczne w trakcie pracy za pomocą emisji akustycznej. Umieszczenie w odpowiednim miejscu czujnika AE i poddaniu otrzymanego sygnału obróbce da odpowiedź, czy dany element jest sprawny lub nie.

Obecnie powszechnie stosuje się emisję akustyczną jako technikę pomiarową w konstrukcjach i budownictwie [1], defektoskopii materiałów [2], obróbki materiałów [3], diagnostyce transformatorów energetycznych [4], uszkodzeń wywołanych wylądowaniami niezupelnymi w izolatorach [5] i innych.

Założeniem badań było stwierdzenie obecności emisji akustycznej występującej podczas przełączania półprzewodnika oraz rejestracja tego zjawiska. Wystąpienie emisji akustycznej badanej metodą stosowaną w Laboratorium Zielonej Energetyki zostało opisane we wcześniejszych publikacjach Zakładu.

Obecna publikacja otwiera wachlarz wstępnych pomiarów i poszukiwania metody obróbki sygnału. Zastosowany sensor emisji akustycznej firmy Physical Acoustics WS-

alfa z wbudowanym szerokopasmowym wzmacniaczem pozwolił na obserwację zmian wartości napięcia otrzymanego na wyjściu sensora w stosunku do zmian wartości amplitudy sygnału wejściowego. Sensor został podłączony do oscyloskopu, aby zobaczyć wynik w jak najszerszym paśmie i bez zbędnej obróbki. Ponieważ sygnał otrzymany z sensora nie był adekwatny do spodziewanej odpowiedzi prądowej na skok jednostkowy napięcia, zespół badawczy zajął się poszukiwaniem istoty i genezy powstałego sygnału. Do tego celu zostały przeprowadzone badania wpływu napięcia zasilania, a co za tym idzie napięcia na wyjściu układu w funkcji wartości szczytowych krzywej otrzymanej w sensorze. Celem tego badania było sprawdzenie, czy te zmiany wpłyną na parametry otrzymanego impulsu wyjściowego. W artykule przedstawiono pomiar jednego tranzystora oraz wybrane, reprezentatywne tabele z pomiarami, które w większości potwierdzają tezę zawartą we wnioskach.

2. Założenia i stanowisko pomiarowe

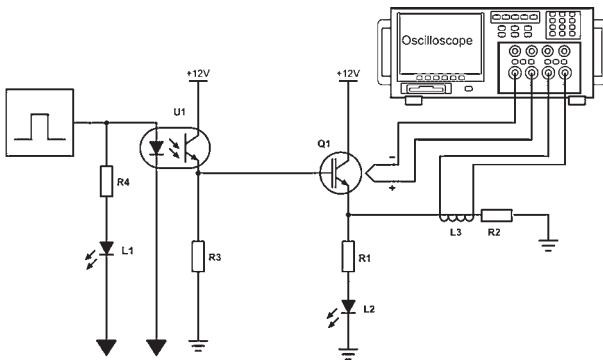
Do pomiarów zbudowano stanowisko pomiarowe wyposażone w niezbędny sprzęt. W skład którego wchodzi: generator napięcia prostokątnego, zasilacz prądu stałego z regulowanym napięciem, amperomierz cęgowy. Do rejestracji i obróbki danych użyto czterokanałowego, cyfrowego oscyloskopu. Zastosowanie oscyloskopu, jako najprostszego urządzenia rejestrującego, spowodowało pewne ograniczenia, jednak dało możliwość odczytu sygnału bezpośrednio z sensora i możliwość wyboru dalszej obróbki matematycznej za pomocą oprogramowania matematycznego, np. Matlab oraz otwartą drogę do opracowania własnej koncepcji gotowego urządzenia diagnostycznego.

W testach zdecydowano się na tranzystor IGBT ze względu na dużą powierzchnię złącza, możliwość przełączania w szerokim zakresie prądów i napięć, a co za tym idzie mocy oraz modułową budowę (minimum dwa tranzystory i jednym

*Autor korespondencyjny. E-mail: r.gordon@am.szczecin.pl

chipie), co sprawiało, że układ taki z dużym prawdopodobieństwem będzie emitował fale akustyczne.

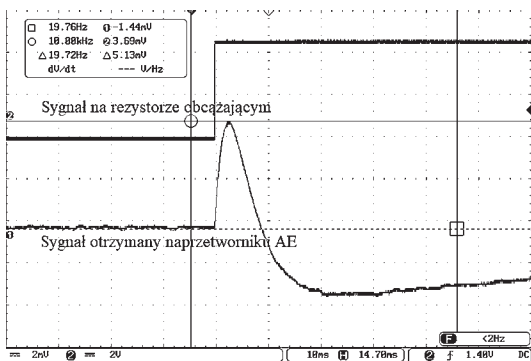
Do wyzwalania zmian stanu wybranego tranzystora zbudowano układ elektroniczny (rys 1). Starano się zachować maksymalną prostotę, a przez to odporność na zakłócenia elektryczne oraz akustyczne. Tranzystor wyzwalany był napięciem prostokątnym o wartościach 0 i 10V podanego na bramkę z wyjścia transoptora, który oddzielał galwanicznie generator od układu wyzwalającego z generatora fali prostokątnej. Zastosowanie transoptora poza ochroną generatora, niwelowało wpływ oddziaływań sygnału wyjściowego na sygnał z generatora oraz rozdzielało masy tranzystora i generatora.



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego (opracowanie własne).
Fig. 1. The measuring system used in the experiment (own study).

Do badania użyto sensor z wbudowanym wzmacniaczem. Wbudowany wzmacniacz wprowadza pewne ograniczenia, np. pojemności własne, jednak bez szerokopasmowego układu wzmacniającego sygnał emisji akustycznej jest trudny do zmierzenia ze względu na niski jego poziom i ograniczenia oscyloskopu. Na rysunku 2 (Rys.2) jest przykładowy obraz otrzymanego sygnału.

Badaniu poddano typowy i szeroko stosowany tranzystor IGBT o oznaczeniu IRG4PC40S wyprodukowany przez firmę International Rectifier [6].



Rys. 2. Sygnał otrzymany na oscyloskopie (opracowanie własne).
Fig. 2. The waveforms received on the oscilloscope (own study).

3. Pomiary

Celem pomiarów było sprawdzenie, czy wyniki pomiarów pokrywają się ze wzorami na pojemności pasozytnicze w tranzystorach (1) i (2) [7] oraz z zarejestrowanym sygnałem

na wyjściu tranzystora, a także, co wpływa na zmiany sygnału emisji akustycznej, z głównym naciskiem na wykrycie zmian napięcia przy przełączaniu i definitywne powiązanie napięcia przełączanego z zarejestrowanym sygnałem na sensorze emisji akustycznej.

$$C_{GC} = \begin{cases} C_{OXD} & V_{CE} < V_{GE} - V_{GE(th)} \\ \frac{C_{OXD} C_{GDJ}}{C_{OXD} + C_{GDJ}} & V_{CE} \geq V_{GE} - V_{GE(th)} \end{cases} \quad (1)$$

$$C_{GC} = \frac{A_{GD} \epsilon_{Si}}{\sqrt{2} \epsilon_{Si} (V_{CE} - V_{GE(th)}) / q / N_B} \quad (2)$$

gdzie: C_{OXD} i pojemności nasycenia bramka – bramka dren; C_{GDJ} zależne od napięcia V_{CE} (kolektor emiter) gdzie A_{GD} jest powierzchnią styku; ϵ_{Si} jest stałą dielektryczną krzemu i napięcia progowego bramka emiter $V_{GE(th)}$; N_B obszar koncentracji nośników większościowych; C_{GC} – pojemność kolektor-emiter, składająca się z pojemności na styku tlenku krzemu bramka – dren.

Na bramkę tranzystora (G) podano napięcie prostokątne, zmienne o różnej częstotliwości, ze współczynnikiem wypełnienia 50%, wygenerowane przez generator JC5603P i przekształcone przez transoptor do wartości 10 V w stanie wysokim i 0 V w stanie niskim. Do pomiarów zastosowano oscyloskop GDS2074A, 70 MHz 2 Gs/s. Sensor AE (emisji akustycznej) WSAI firmy Physical Acoustics ze wbudowanym wzmacniaczem [8].

Sensor został zamontowany bezpośrednio na tranzystorze, na jego plastikowej części obudowy. Styk był poprawiony za pomocą specjalnego smaru dostarczonego przez producenta oraz dociśnięty plastikową klemą dla lepszego przewodzenia fali akustycznej.

Sygnał z oscyloskopu został zapisany i poddany obróbce. Na jego podstawie obliczono długość trwania impulsu oraz zmiany amplitud dla poszczególnych pomiarów (co jest wykazane w tabelach 1-3). W pomiarze najistotniejszy był moment przełączenia i osiągnięcia maksymalnej lub minimalnej wartości zarejestrowanego impulsu.

Dokonano serii pomiarów, a przykładowe zostały zawarte w trzech tabelach i podzielone ze względu na częstotliwość przełączania generatora. W tabelach mamy dane dla częstotliwości 3Hz (Tab. 1.), 10Hz (Tab. 2.) oraz 20Hz (Tab. 3.).

Tab. 1. Tabela wartości bezwzględnych maksymalnych i minimalnych napięć zmierzonych na zarejestrowanym sygnale z częstotliwością przełączania 3Hz.

Tab. 1. Table of absolute values of maximum and minimum voltages measured on the registered signal with a switching frequency of 3Hz.

Lp.	Napięcie zasilania [V]	Wartość napięcia szczytowa zarejestrowanej fali [mV]	Wartość napięcia dolnej części zarejestrowanej fali [mV]
1	30	24	15,1
2	25	12,3	10,7
3	20	14,6	8,16
4	15	7,8	5,4
5	10	4,6	3,5
6	5	0,9	0,1

Tab. 2. Tabela wartości bezwzględnych maksymalnych i minimalnych napięć zmierzonych na zarejestrowanym sygnale z częstotliwością przełączania 10Hz.

Tab. 2. Table of absolute values of maximum and minimum voltages measured on the registered signal with a switching frequency of 10Hz.

Lp.	Napięcie zasilania [V]	Wartość napięcia szczytowa zarejestrowanej fali [mV]	Wartość napięcia dolnej części zarejestrowanej fali [mV]
1	30	27,7	13,5
2	25	13,2	11,1
3	20	14,5	8,7
4	15	8,9	6,1
5	10	4,9	3,0
6	5	0,8	0,2

Tab. 3. Tabela wartości bezwzględnych maksymalnych i minimalnych napięć zmierzonych na zarejestrowanym sygnale z częstotliwością przełączania 20Hz.

Tab. 3. Table of absolute values of maximum and minimum voltages measured on the registered signal with a switching frequency of 20Hz.

Lp.	Napięcie zasilania [V]	Wartość napięcia szczytowa zarejestrowanej fali [mV]	Wartość napięcia dolnej części zarejestrowanej fali [mV]
1	30	23,3	13,2
2	25	13,5	10,9
3	20	14,3	8,5
4	15	8,3	6,0
5	10	5,0	3,4
6	5	0,9	0,1

4. Wnioski

Sygnały otrzymane na oscyloskopie (Rys.2) wskazują wyraźnie powiązanie emisji akustycznej i przełączania tranzystora. Czas narastania impulsu na wyjściu tranzystora oraz na otrzymanym obrazie z sensora różni się ze sobą, jednakże te różnice są we wszystkich przypadkach podobne, dlatego

niewuwzględnione w tabeli, czas narastania wraz z czasem opadania wynosi około 20ms. Czas opadania impulsu na czujniku EA jest zależny od jego wewnętrznej budowy. Czujnik rejestruje zmianę sygnału i powoli rozładowuje się przez jego pojemności wewnętrzne. Jeżeli sygnał szybko zmieniłby się na polaryzację przeciwną, przeładowanie nastąpiłoby szybko. Przy braku fali odbitej pojemności rozładowują się powoli. Czas narastania impulsu jest zależny od wygenerowanej fali akustycznej.

Pomiar otrzymanych amplitud sugeruje wyraźną zależność napięcia przełączanego, czyli praktycznie napięcia zasilania, na otrzymany wynik na oscyloskopie.

Zależność wartości napięcia zasilania od otrzymanych wartości amplitudy sygnału z sensora EA została wykazana bezspornie. Zatem sygnał na czujniku jest odebrany sygnałem emisji akustycznej wygenerowanej przez złącza tranzystora, co było głównym zadaniem.

5. Literatura/References

- [1] Z. Ranachowski, Emisja akustyczna w diagnostyce obiektów technicznych, Drogi i mosty R. 2 2012 (105).
- [2] L. Hasse, L. Spiralski, J. Śikula, Pomiar i obróbka sygnałów emisji akustycznej w diagnostyce obiektów, XIV Seminarium Zastosowanie komputerów w nauce i technice 2004 (100).
- [3] P. Lajmert, B. Kruszyński, Identyfikacja wczesnych symptomów niepożądanych stanów procesu w szlifowaniu kłowym wałków, Inżynieria Maszyn, R. 15, z. 4, 2010 (102).
- [4] F. Witos, A. Olszewska, System do analizy sygnałów emisji akustycznej generowanych przez wyładowania niezupełne w izolacji transformatorów elektroenergetycznych, Przegląd elektrotechniczny (Electrical Review), R. 88 NR 11b/2012, pp 154-157, 2012 (103).
- [5] Z. Ranachowski, „Emisja akustyczna i jej zastosowanie w technice”, Nowa Elektrotechnika, no. 9 (73) pp 2-5, 2010.
- [6] IRG4PC40S, IGBT transistor, International Rectifier, data sheet.
- [7] S. Zhou, L. Zhou, P. Sun, “Monitoring Potential Defects in an IGBT Module Based on Dynamic Changes of the Gate Current”, Ieee Transactions On Power Electronics, vol. 28, no. 3, MARCH 2013 (009).
- [8] AE- Sensor Overview, WSA Alfa, Physical Acoustics data sheet.

Badania Nieniszczące i Diagnostyka

Nondestructive Testing and Diagnostics

LISTA RECENZENTÓW W ROKU 2017

- 1) dr hab. inż. Maciej Roskosz, prof. nadzw. AGH w Krakowie
- 2) prof. dr hab. inż. Piotr Bielawski, AM w Szczecinie
- 3) dr hab. inż. Jacek Szelażek, prof. nadzw. PAN
- 4) mgr inż. Jędrzej Hlebowicz, Pro Novum Sp. z o.o.
- 5) prof. dr inż. Ryszard Sikora, emerytowany prof. ZUT w Szczecinie
- 6) dr hab. inż. Jarosław Chmiel, prof. nadzw. AM w Szczecinie
- 7) dr hab. inż. Bernard Wichtowski, emerytowany pracownik ZUT w Szczecinie
- 8) dr hab. inż. Jacek Ślania, prof. nadzw. IS w Gliwicach
- 9) dr inż. Grzegorz Jezierski, Politechnika Opolska
- 10) dr inż. Michał Kawiak, ZUT w Szczecinie
- 11) dr inż. Adam Sajek, ZUT w Szczecinie
- 12) mgr inż. Marek Lipnicki, Koli Sp. z o.o.
- 13) prof. dr hab. inż. Tomasz Węgrzyn, PŚL w Gliwicach
- 14) dr hab. inż. Jaromir Mysłowski, ZUT w Szczecinie
- 15) dr inż. Grzegorz Jezierski, Politechnika Opolska