

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Wydział Elektryczny

Instytut Elektroenergetyki

Zakład Elektrowni i Gospodarki Elektroenergetycznej



INSTRUKCJA DO ĆWICZENIA

E31/

Praca prostowników mocy w SEE, współczynniki mocy (TCad)

dr inż. Piotr Biczal

www.ee.pw.edu.pl/~biczalp

Ćwiczenie należy wykonywać po kolei, według instrukcji.
Należy zapoznać się z zagadnieniem przed przystąpieniem do ćwiczenia.

Ćwiczenie odbywa się w sali 405, klatka C GE.

Pakiet symulacyjny TCad

Program TCad jest polskim programem do symulacji układów energoelektronicznych, szczególnie dużej mocy. Dzięki zastosowaniu prostych, ale dobrze dobranych algorytmów numerycznych oraz modeli elementów obwodu doskonale nadaje się do projektowania złożonych układów przekształtnikowych. Pod wieloma względami przewyższa zagraniczne pakiety tego typu.

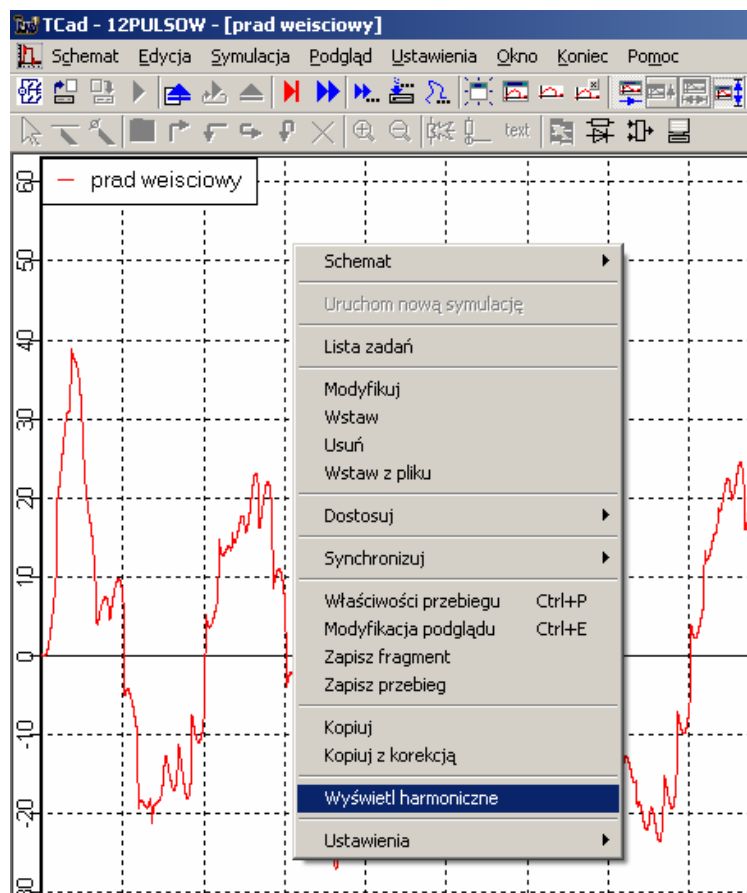
Opis TCad’a można znaleźć na stronie programu www.tcad.com.pl.

Tam też można pobrać wersję demo, co gorąco polecam. Program jest bardzo prosty w obsłudze. Do wykonania ćwiczenia wystarczy znajomość następujących funkcji:

- uruchomienie i zakończenie symulacji,
- analiza harmoniczných,
- zmiana parametru.

Aby uruchomić symulację należy kliknąć ikonę .

Po zakończeniu obliczeń ikona  będzie migać na czerwono i niebiesko. Jej naciśnięcie spowoduje zamknięcie symulacji i wszystkich przebiegów. Nie naciskać przed przeprowadzeniem wszystkich analiz.



Rys. 1. Menu kontekstowe TCad’a

Aby wykonać analizę harmoniczną należy w obszarze okna kliknąć prawym klawiszem myszy i wybrać funkcję „Wyświetl harmoniczne” (rys. 1). Otworzy się okno parametrów analizy, które należy odpowiednio wypełnić (wybrać 40 harmoniczných). Po przeprowadzeniu analizy otrzymane dane zapisać.

Aby zmienić parametry elementu należy go kliknąć dwukrotnie. Otworzy się okno dialogowe, w którym należy zmienić odpowiednie dane i kliknąć OK.

Zastosowanie prostowników w SEE

Rozwój półprzewodnikowych przyrządów mocy (tranzystorów, tyrystorów, diod itp) [2][3], zwłaszcza zwiększenie napięć i prądów przewodzonych spowodował ponowne zainteresowanie prądem stałym. Można dziś zbudować przekształtniki przyłączane bezpośrednio do sieci energetycznej o napięciu 15 kV, rozwijają się łącza wysokonapięciowe prądu stałego do przesyłu energii (HVDC – ang. High Voltage Direct Current) [5] oraz energoelektroniczne układy poprawy jakości energii i sterowania przesyłem (STATCOM). Również rozwój generacji rozproszonej upowszechnia zastosowanie łączy prądu stałego poprzez konieczność budowy bateryjnych zasobników energii oraz połączeń prądem stałym. Połączenia takie mają tę cechę, że pozwalają na kontrolowany przepływ energii pomiędzy systemami elektroenergetycznymi pracującymi z różnymi częstotliwościami i różnymi poziomami napięć. Wszędzie tam mają zastosowanie prostowniki energoelektroniczne. Za przykłady mogą służyć łącze prądu stałego ze Szwecją oraz energoelektroniczny przemiennik częstotliwości [6].

Współczynnik mocy i THD

Dla przypomnienia należy powiedzieć, że wartość skuteczną przebiegu odkształconego bez składowej stałej określa wzór:

$$I = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2} \quad (1)$$

gdzie I_n – wartość skuteczna n -tej harmonicznej.

W praktyce ogranicza się do 40 harmoniczných:

$$I = \sqrt{\sum_{n=1}^{40} I_n^2} = \sqrt{I_1^2 + \sum_{n=2}^{40} I_n^2} \quad (2)$$

Całkowity współczynnik zniekształceń harmoniczných (ang. Total Harmonic Distortion, THD) definiuje się następująco:

Ćwiczenie „Badanie akumulatora kwasowo-ołowiowego”

$$THDi = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} I_n^2}}{I_1} \cdot 100\% \quad (3)$$

Współczynnik mocy został wprowadzony dla jakościowego opisu zjawisk związanych z przepływem mocy biernej i mocy odkształcenia. Definiuje się go następująco:

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{I_1}{I} \cdot \cos\varphi_1 \quad (4)$$

gdzie: P – moc czynna; S – moc pozorna; I_1 – wart. skuteczna 1. harm.;

I – wartość skuteczna prądu odkształconego; $\cos\varphi_1$ – cosinus kąta przesunięcia fazowego pomiędzy 1. harmoniczną prądu a 1. harmoniczną napięcia.

Wartość przesunięcia fazowego φ_1 można wyznaczyć z rozkładu na szereg Fouriera napięcia i prądu stosując wzór (5) [1]:

$$\varphi_1 = \psi_{i1} - \psi_{u1} \quad (5)$$

gdzie: ψ_{i1} – faza początkowa pierwszej harmonicznego prądu; ψ_{u1} – faza początkowa pierwszej harmonicznego napięcia.

We wszystkich symulacjach w ćwiczeniu E31 wymuszeniem jest nieodkształcony przebieg napięcia, dla którego $\psi_{u1} = 89,82^\circ$. Kąt ψ_{i1} należy wyznaczyć.

Biorąc pod uwagę (2), (3), (4) i (6):

$$I_1 \cdot THDi = \sqrt{\sum_{n=2}^{40} I_n^2} \quad (6)$$

otrzymujemy (6):

$$\begin{aligned} \frac{I_1}{I} &= \frac{I_1}{\sqrt{\sum_{n=1}^{40} I_n^2}} = \frac{I_1}{\sqrt{I_1^2 + \sum_{n=2}^{40} I_n^2}} = \\ &= \frac{I_1}{\sqrt{I_1^2 + (I_1 \cdot THDi)^2}} = \frac{I_1}{I_1 \cdot \sqrt{1 + THDi^2}} \\ \frac{I_1}{I} &= \frac{1}{\sqrt{1 + THDi^2}} \end{aligned} \quad (7)$$

a współczynnik mocy wynosi:

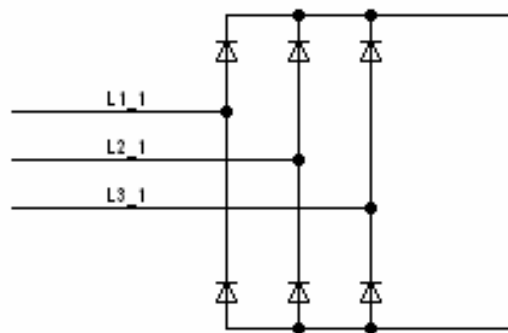
$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{I_1}{I} \cos\varphi_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + THDi^2}} \cos\varphi_1 \quad (8)$$

Więcej informacji o mocach odkształconych można znaleźć w [1].

Jako zasadę należy przyjąć takie konstruowanie układów, aby ich współczynniki mocy były zbliżone do 1. W stosunku do układów będących przedmiotem niniejszego ćwiczenia sprowadza się to do minimalizacji współczynnika THD prądu pobieranego z sieci.

Prostowniki dużej mocy

Najbardziej znanym trójfazowym układem prostowniczym jest mostek sześciopulsowy (rys. 2). Opis działania tego układu z różnymi rodzajami obciążeń można znaleźć w praktycznie każdym podręczniku energoelektroniki, np. w [2] lub [3]. Wadą tego układu jest to, że pobiera z sieci zasilającej prąd silnie odkształcony. Współczynnik zawartości wyższych harmoniczných przekracza w zasadzie zawsze 30%.



Rys. 2. Prostownik sześciopulsowy

Należy tu podkreślić, co rozumiem pod pojęciem dużej mocy. W zasadzie ćwiczenie dotyczy układów, które wykonuje się w zakresie mocy od dziesiątek kilowatów do megawatów. Zastosowanie wtedy układu pobierającego prąd silnie odkształcony może prowadzić do odkształcenia napięcia sieci oraz innych zakłóceń, a w szczególności uszkodzeń innych odbiorów i zabezpieczeń. Zagadnienia te są omawiane ostatnio szeroko w prasie fachowej i materiałach konferencyjnych. Niekiedy, w szczególnie niekorzystnych warunkach (np. rozległe sieci rozdzielcze niskiego napięcia), nawet układy o mocy rzędu kilowatów, a nawet dziesiątek i setek watów występujące w dużej liczbie mogą powodować podobne zjawiska. Z tego powodu dąży się do jak najszerszego stosowania prostowników pobierających prąd zbliżony do sinusoidalnego.

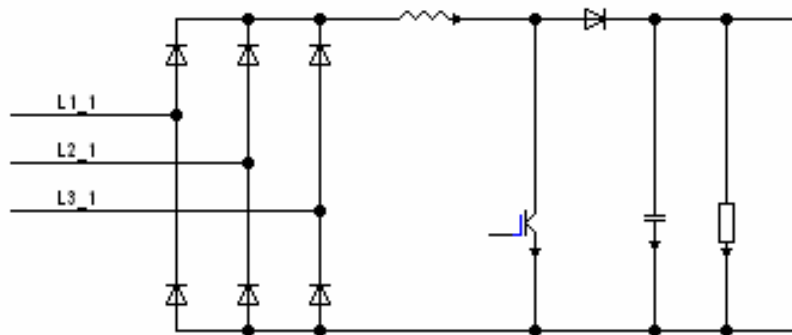
Obecnie, w układach o mocach rzędu setek kilowatów i megawatów stosuje się następujące dwa rozwiązania:

- układy z aktywnym kształtowaniem prądu,
- układy wielopulsowe.

Pewne szczegółowe informacje z tego zakresu można znaleźć w [2] i [4].

Układy z aktywnym kształtowaniem prądu zawierają elementy w pełni sterowalne, czyli tranzystory. Dzieli się na sterowane tranzystorowe mostki sześciopulsowe oraz na układy mostków niesterowanych z dodatkowymi układami kształtowania prądu (rys. 3) [2][3].

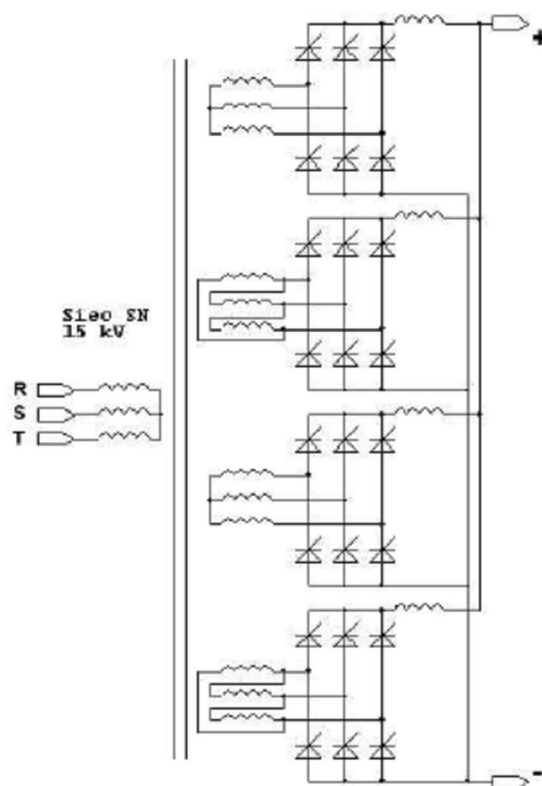
Ćwiczenie „Badanie akumulatora kwasowo-ołowiowego”



Rys. 3. Prostownik sześciopulsowy z kształtowaniem prądu

Układy tranzystorowe pobierają z sieci prądy o THD w granicach 4%. Niestety nie można ich obecnie tanio wykonywać na moce większe niż kilkadziesiąt kilowatów. Natomiast trójfazowe mostki sześciopulsowe z układami kształtowania prądu pobierają prąd o THD rzędu kilkunastu procent.

Dla mocy rzędu megawatów w zasadzie niepodzielnie królują wielopulsowe układy diodowe i tyrystorowe. Wynika to z wielokrotnie wyższych prądów i napięć przewodzonych przez te elementy niż przez tranzystory. Układy wielopulsowe powstają przez równoległe lub szeregowe połączenie mostków sześciopulsowych [4]. Przykład pokazałem na rys. 4.



Rys. 4. Przykładowy prostownik dwudziestoczworopulsowy

Ćwiczenie „Badanie akumulatora kwasowo-ołowiowego”

Układy dwunastopulsowe pobierają prądy o THD w granicach 16%, a dwudziestoczwieropulsowe w granicach 6%. Osiągi te można łatwo poprawić przez zastosowanie prostych filtrów pasywnych. Wadą układów wielopulsowych jest konieczność stosowania specjalnych konstrukcji transformatorów. Jednak dla omawianego zakresu mocy łączenie do sieci przez transformator jest standardem.

Instrukcja postępowania

Ćwiczenie polega na badaniu kształtu prądu pobieranego z sieci przez prostowniki w funkcji obciążenia.

Należy pamiętać, że badane modele są bardzo uproszczone i w praktyce można spotkać układy o znacząco lepszych parametrach.

Ćwiczenie należy wykonywać w podanej niżej kolejności. W razie jakichkolwiek wątpliwości należy pytać Prowadzącego.

Pakiet plików do ćwiczenia składa się z następujących plików do symulacji:

- 6pulsow.sch,
- 12pulsow.sch,
- 24pulsy.sch,
- 6pulsow_sinus.sch

oraz pliku harm.xls ułatwiającego wykonanie ćwiczenia.

Na koniec ćwiczenia, w wyniku przeprowadzenia symulacji powinno, między innymi powstać:

- 16 plików z wynikami symulacji z rozszerzeniem dat,
- 16 plików z harmonicznymi z rozszerzeniem txt.

Sugeruję przynieść jakiś nośnik danych lub wysłać sobie pakiet z wynikami pracy pocztą.

1. Badanie prostownika sześciopulsowego

1. Otworzyć TCad i plik symulacyjny 6pulsów.sch
2. Sprawdzić parametry rezystora obciążeniowego obc_r. Powinno być wpisane OBC_R.
3. Przeprowadzić symulację
4. Przeprowadzić i zapisać (pod nazwą 6p_har1.txt) analizę harmoniczných
5. Zapisać obraz z odpowiednio rozciągniętym przebiegiem prądu wejściowego.
6. Zakończyć symulację
7. Zmienić nazwę pliku 6pulsów.dat na 6p_1.dat
8. Powtarzać czynności 2 – 7 podstawiając zamiast OBC_R kolejno: OBC_R/0.75, OBC_R/0.5, OBC_R/0.25, co odpowiada zmniejszaniu obciążenia.

2. Badanie prostownika dwunastopulsowego

1. Otworzyć TCad i plik symulacyjny 12pulsów.sch
2. Sprawdzić parametry rezystora obciążeniowego `obc_r`. Powinno być wpisane `OBC_R`.
3. Przeprowadzić symulację
4. Przeprowadzić i zapisać (pod nazwą 12p_har1.txt) analizę harmoniczną
5. Zapisać obraz z odpowiednio rozciągniętym przebiegiem prądu wejściowego.
6. Zakończyć symulację
7. Zmienić nazwę pliku 6pulsów.dat na 12p_1.dat
8. Powtarzać czynności 2 – 7 podstawiając zamiast `OBC_R` kolejno: `OBC_R/0.75`, `OBC_R/0.5`, `OBC_R/0.25`, co odpowiada zmniejszaniu obciążenia.

3. Badanie prostownika dwudziestoczeropulsowego

1. Otworzyć TCad i plik symulacyjny 24pulsy.sch
2. Sprawdzić parametry rezystora obciążeniowego `obc_r`. Powinno być wpisane `OBC_R`.
3. Przeprowadzić symulację
4. Przeprowadzić i zapisać (pod nazwą 24p_har1.txt) analizę harmoniczną
5. Zapisać obraz z odpowiednio rozciągniętym przebiegiem prądu wejściowego.
6. Zakończyć symulację
7. Zmienić nazwę pliku 6pulsów.dat na 24p_1.dat
8. Powtarzać czynności 2 – 7 podstawiając zamiast `OBC_R` kolejno: `OBC_R/0.75`, `OBC_R/0.5`, `OBC_R/0.25`, co odpowiada zmniejszaniu obciążenia.

4. Badanie prostownika sześciopulsowego z kształtowaniem prądu

9. Otworzyć TCad i plik symulacyjny 6pulsów_sinus.sch
10. Sprawdzić parametry rezystora obciążeniowego `obc_r`. Powinno być wpisane `OBC_R`.
11. Przeprowadzić symulację
12. Przeprowadzić i zapisać (pod nazwą 6psin_har1.txt) analizę harmoniczną
13. Zapisać obraz z odpowiednio rozciągniętym przebiegiem prądu wejściowego.
14. Zakończyć symulację
15. Zmienić nazwę pliku 6pulsów.dat na 6psin_1.dat

16. Powtarzać czynności 2 – 7 podstawiając zamiast OBC_R kolejno: OBC_R/0.75, OBC_R/0.5, OBC_R/0.25, co odpowiada zmniejszaniu obciążenia.

5. Obliczenia

Dla każdej symulacji wyznaczyć współczynnik mocy i THD.

Sprawozdanie

W sprawozdaniu zamieścić:

- schematy badanych układów i krótki opis wykonywanych czynności w trakcie ćwiczenia,
- przebiegi prądów w funkcji czasu w stanie ustalonym (skopiować ekrany),
- widma prądów z wykresów z obliczonym współczynnikiem THD i współczynnikiem mocy (wykorzystać wzorcowy plik harm.xls),
- stosowne obliczenia wg p. 5,
- w jednym układzie współrzędnych zależność THD prądu pobieranego z sieci od obciążenia dla wszystkich badanych przebiegów.

We wnioskach zamieścić spostrzeżenia odnośnie przydatności TCad'a do symulacji omawianych zagadnień. Jeżeli studenci mają własne doświadczenia pokusić się o porównanie z innymi pakietami. Zaproponować poprawki w programie.

Literatura

- [1] Strzelecki R., Supronowicz H.: Współczynnik mocy w systemach zasilania prądu przemiennego i metody jego poprawy. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2000.
- [2] Barlik, Nowak: Poradnik inżyniera energoelektronika.
- [3] Dmowski: Energoelektroniczne układy zasilania prądem stałym w telekomunikacji i energetyce. WNT Warszawa 1998
- [4] Biczal P., Kłos M.: Czyżby renesans układów tyrystorowych. Podstawowe Problemy Elektrotechniki i Elektromechaniki PPEE'05. Wisła
<http://www.ee.pw.edu.pl/~biczalp/teksty/ppee2005.pdf>
- [5] Kujszczyk Sz. i inni: Elektroenergetyczne układy przesyłowe. WNT 1997
- [6] Bugyi R., Biczal P., Kłos M., Jasiński A.: Przetwornice częstotliwości dużej mocy. VIII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna "Nowoczesne urządzenia zasilające w energetyce". Elektrownia Kozienice S.A. Świerże Górne 2-4.03.2005, str. 1-8
<http://www.ee.pw.edu.pl/~biczalp/teksty/kozienice2005.pdf>