

	<p align="center">Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie</p> <p align="center">Katedra Energoelektroniki i Automatyki Systemów Przetwarzania Energii</p>	<p><u>Wykonał:</u> Jakub Cios</p>
UKŁADY ENERGOELEKTRONICZNE - LABORATORIUM		
<p><u>Temat ćwiczenia:</u></p> <p>Regulowany zasilacz impulsowy z falownikiem i transformatorem w. cz. (ćwiczenie C2)</p>		
<p><u>Data wykonania:</u> 11.03.2024</p>	<p><u>Data zaliczenia:</u></p>	<p><u>Ocena:</u></p>

1. Mechanizm korzyści i celowość używania wysokoczęstotliwościowych układów zasilających

W celu zwiększenia ilości przesyłanej energii przez transformator musimy zmniejszyć indukcyjność obwodu albo zwiększyć częstotliwość. Zmniejszenie indukcyjności jest kosztownym rozwiązaniem, co było powodem do powstania transformatorów wysokiej częstotliwości.

Porównując układy zasilania z transformatorami sieciowymi z transformatorami wysokoczęstotliwościowymi zauważamy różnice, które możemy podzielić na wady i zalety.

Zalety:

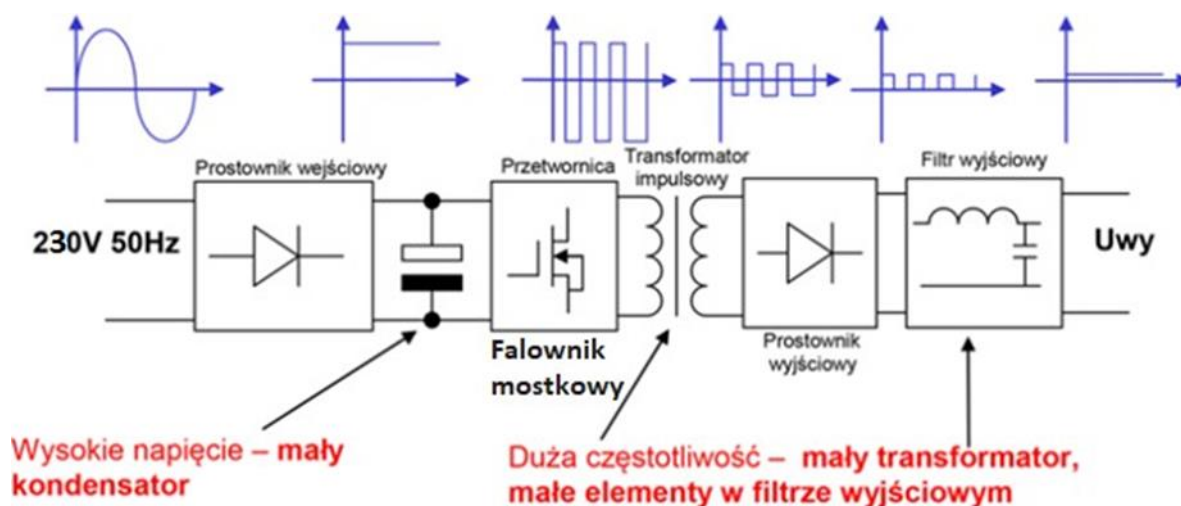
- Zauważalną w pierwszej kolejności różnicą będzie wielkość. Będąc naszym tematem układy są zdecydowanie mniejsze oraz mają mniejszą wagę, ponieważ obwody wysokiej częstotliwości pozwalają na użycie mniejszych transformatorów i kondensatorów.
- Używane w danych układach sterowanie pozwala na większą i szybszą kontrolę napięcia i prądu.
- Kolejnym wynikającym również z obu poprzednich podpunktów będzie lepsza sprawność.
- Mniejsze straty w transformatorze ze względu na wielkość i mniejsze straty przełączania.
- Mniejsze zakłócenia elektromagnetyczne.

Wady:

- Pierwszą natomiast w kolejności wadą tych układów jest ich wysoka cena przede wszystkim wynikająca z elementów układu sterowania i samych transformatorów wysokoczęstotliwościowych
- Oprócz tego są one też bardziej wrażliwe na pojemności i indukcyjności pasożytnicze
- Oraz konieczność dobrego chłodzenia ze względu na grzanie się układu przez wysoką częstotliwość przełączania

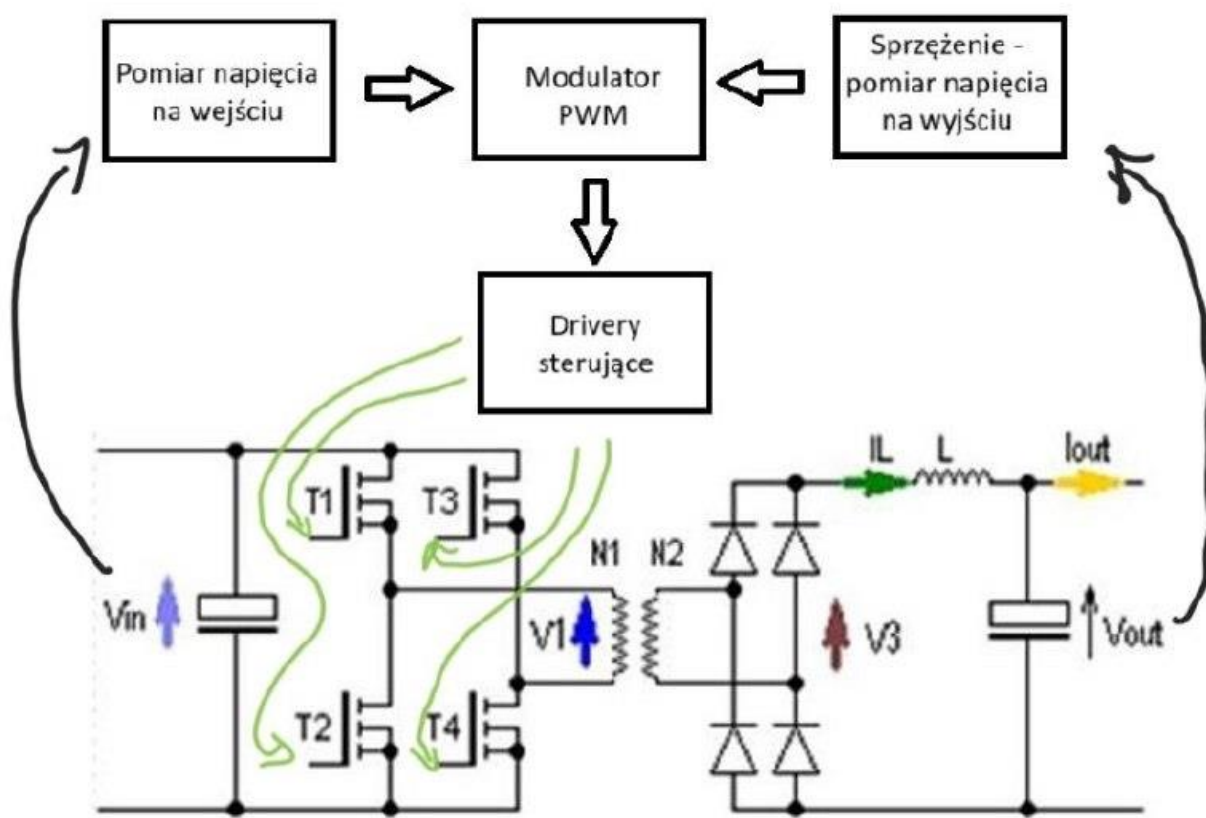
Podsumowując układy te ze względu na powyższe właściwości są używane w przypadkach wymagających mniejszych gabarytów urządzeń i lepszej jakości parametrów opisujących przesyłanie energii.

2. Topologia układu, działanie i charakterystyczne przebiegi sygnałów elektrycznych

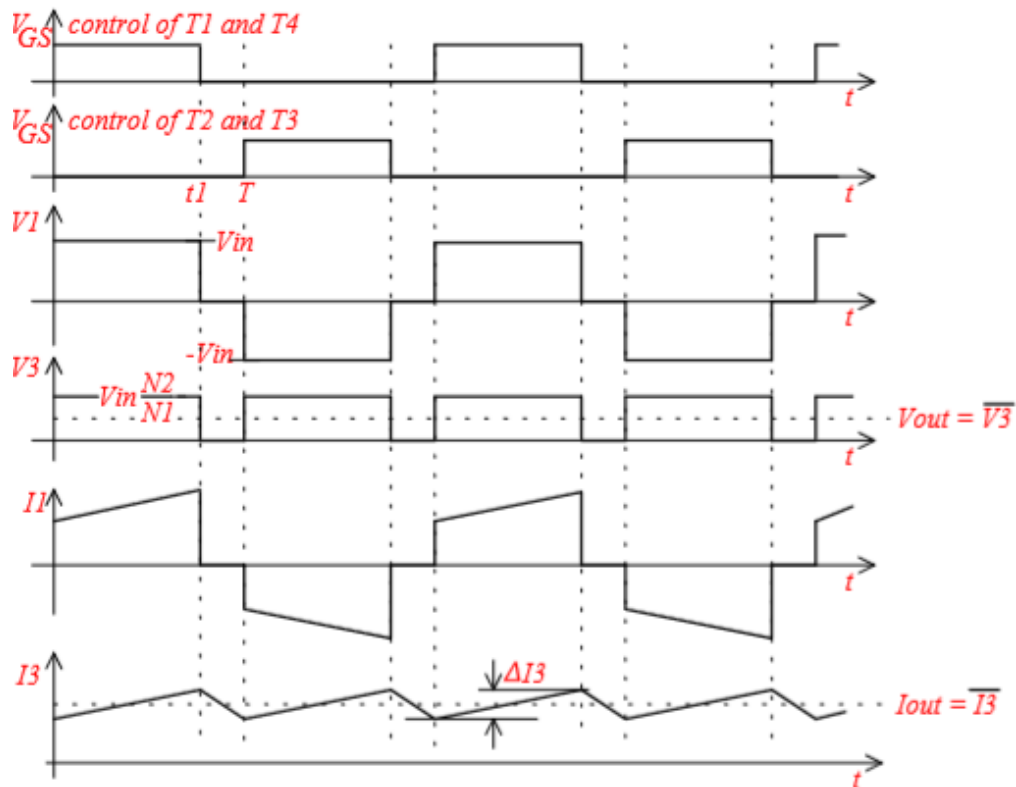


Rys. 1. Schemat blokowy układu

Na wejściu zasilacza podajemy napięcie zmienne z sieci, które następnie trafia na prostownik wejściowy. Prostownik wejściowy zmienia znak wszystkich części sinusa na dodatni. Kondensator łagodzi przebieg danego napięcia, które trafia na falownik, który obsługiwany jest przez system sterowania, którego działanie zostało dokładniej wyjaśnione niżej. Transformator w celu separacji galwanicznej oraz prostownik i filtr wyjściowy w celu otrzymania wyprostowanego napięcia, które po przejściu przez falownik ma przebieg prostokątny z dodatnimi oraz ujemnymi częściami.



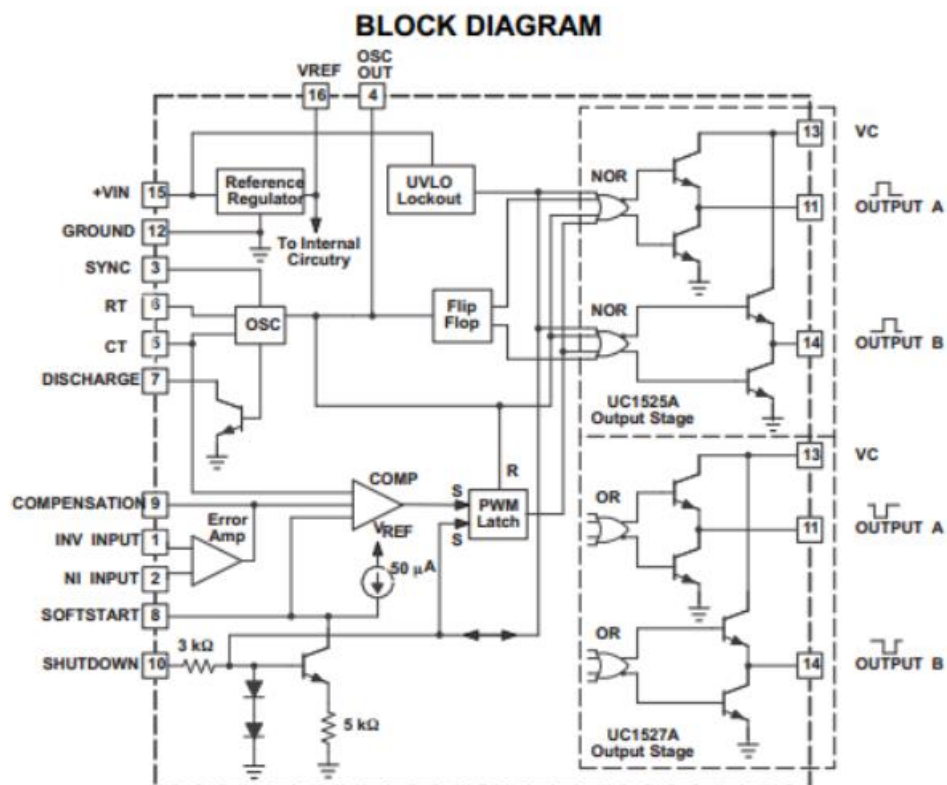
Rys. 2. Topologia falownika pełnomostkowego napięcia z transformatorem w.cz., prostownikiem i filtrem oraz uproszczonym blokowym schematem sterowania



Rys. 3. Przebiegi w czasie charakterystycznych sygnałów w obwodzie z rys. 2.

3. Układ sterowania

3.1 Regulacja napięcia - modulator PWM



Rys. 4. Schemat układu UC3525

Regulacja napięcia wyjściowego w układzie przetwornicy obejmuje modulator PWM, obwody sprzężenia zwrotnego oraz wzmacniacze błędów, które działają w synergii w celu utrzymania stabilnego napięcia wyjściowego. Modulator PWM, na przykład układ scalony UC3525, pełni kluczową rolę w generowaniu impulsów sterujących, które załączają tranzystory w przetwornicy. Porównuje on rzeczywiste napięcie wyjściowe z napięciem referencyjnym, a następnie dostosowuje współczynnik wypełnienia impulsów PWM w celu minimalizacji uchybu. Poprzez odpowiednie ustawienie elementów takich jak RT (Resistor Timing) i CT (Capacitor Timing) reguluje częstotliwość pracy oraz czas martwy impulsów.

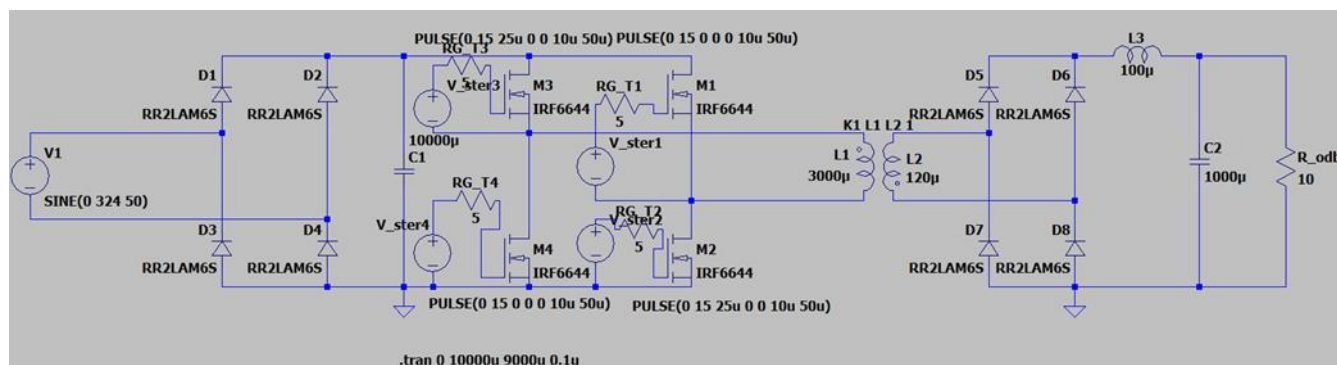
Napięcie wyjściowe przetwornicy zależne jest od napięcia wejściowego, przekładni transformatora oraz wspomnianego współczynnika wypełnienia impulsów PWM. Współczynnik wypełnienia jest określony przez stosunek czasu trwania impulsu do okresu pracy PWM. Poprzez kontrolę współczynnika wypełnienia, modulator PWM reguluje energię dostarczaną do obwodu wyjściowego, zapewniając stabilne napięcie wyjściowe.

3.2 Tranzystory MOSFET i ich obwód rozruchowy

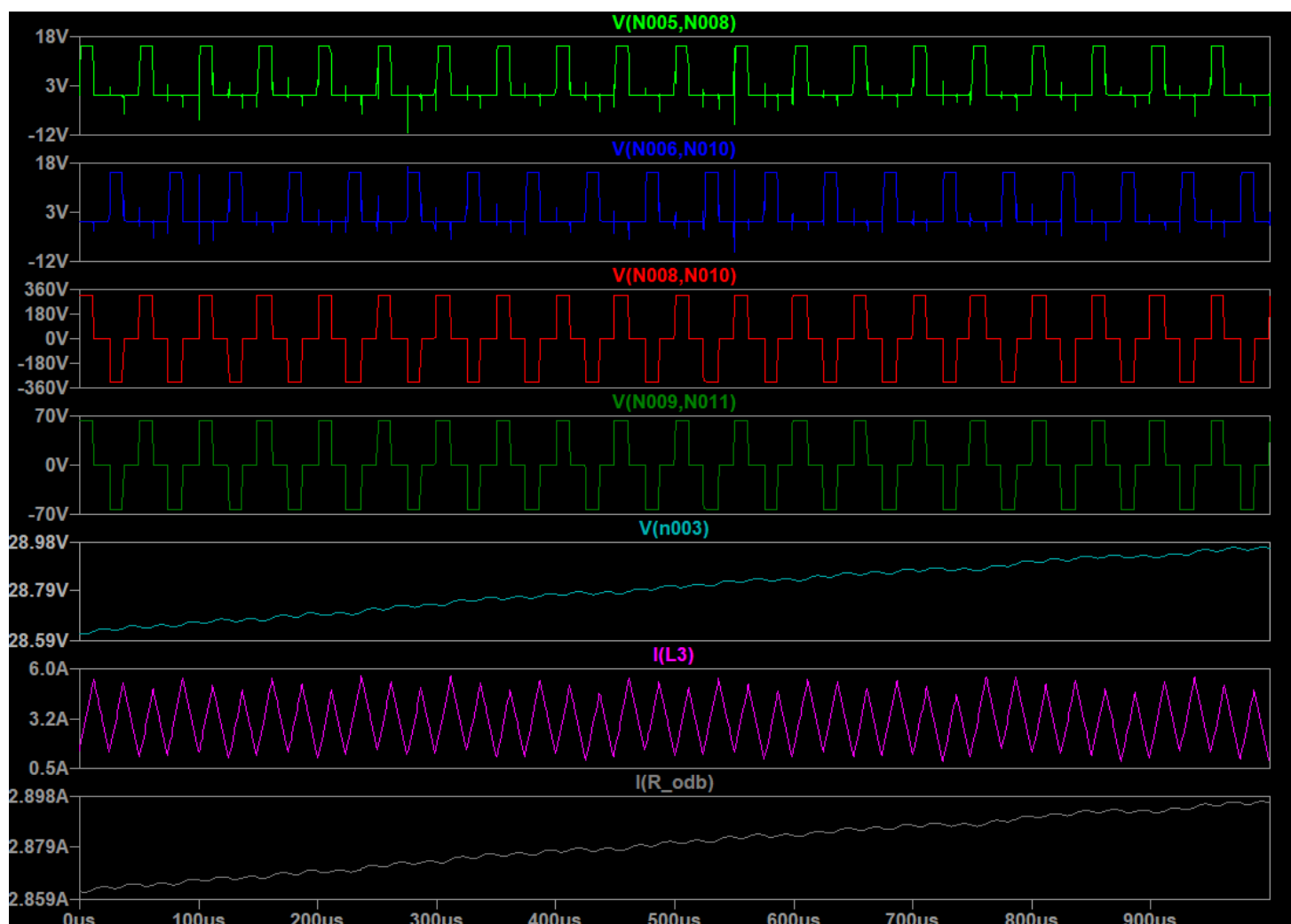
Podczas używania tranzystorów MOSFET należy używać odpowiednich driverów zapewniających izolacji galwaniczną układu sterownia oraz wysoki sygnał prądowy w celu ich szybkiego załączenia. Jednak ten również nie powinien być zbyt duży w celu uniknięcia uszkodzeń. W tym celu stosuje się układy miękkiego startu zapewniające minimalizację prądów rozruchowych, naprężeń mechanicznych i termicznych w transformatorze. Takie rozwiązanie może pomóc w ochronie układu sterującego i poprawie bezpieczeństwa.

4. Badania symulacyjne

Poniżej załączony został układ wykonany w oprogramowaniu LTSpice oraz zebrane charakterystyczne przebiegi, które możemy porównać wcześniejszymi teoretycznymi.



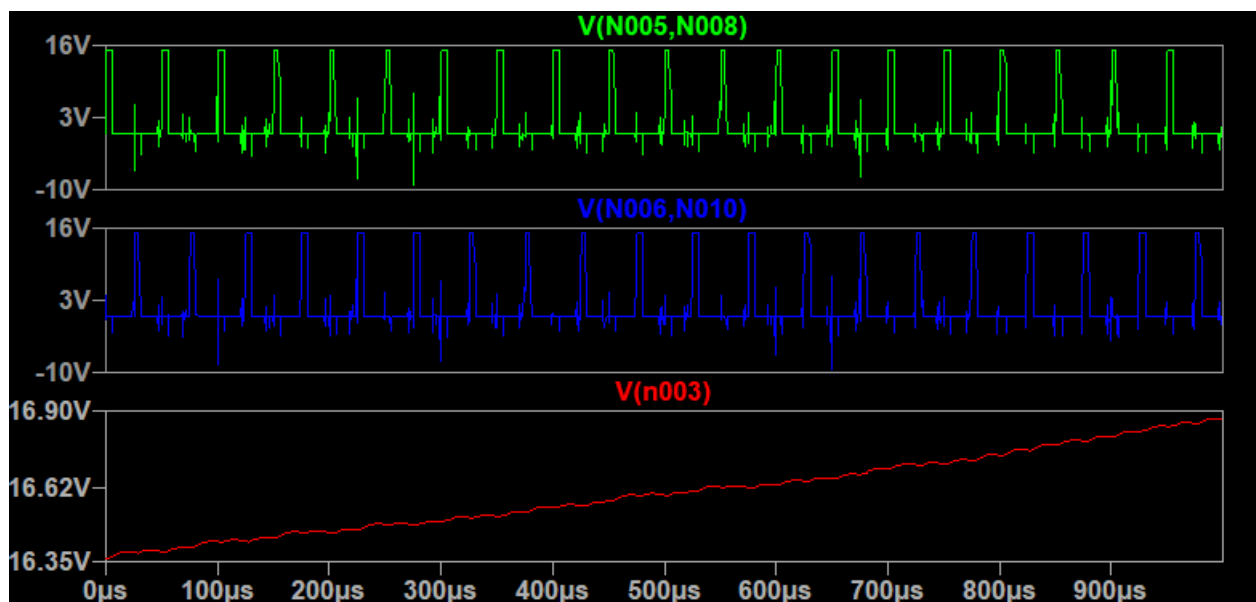
Rys. 4. Schemat układu wykonany w LTSpice



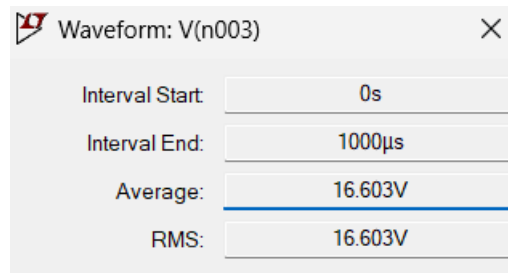
Rys. 5. Zarejestrowane przebiegi w czasie charakterystycznych sygnałów w obwodzie (kolejno sygnały poszczególnych par tranzystorów, napięcie po stronie pierwotnej transformatora, napięcie po stronie wtórnej, napięcie na odbiorniku, prąd na dławiku i prąd na odbiorniku)

4.2 Charakterystyki regulacyjne

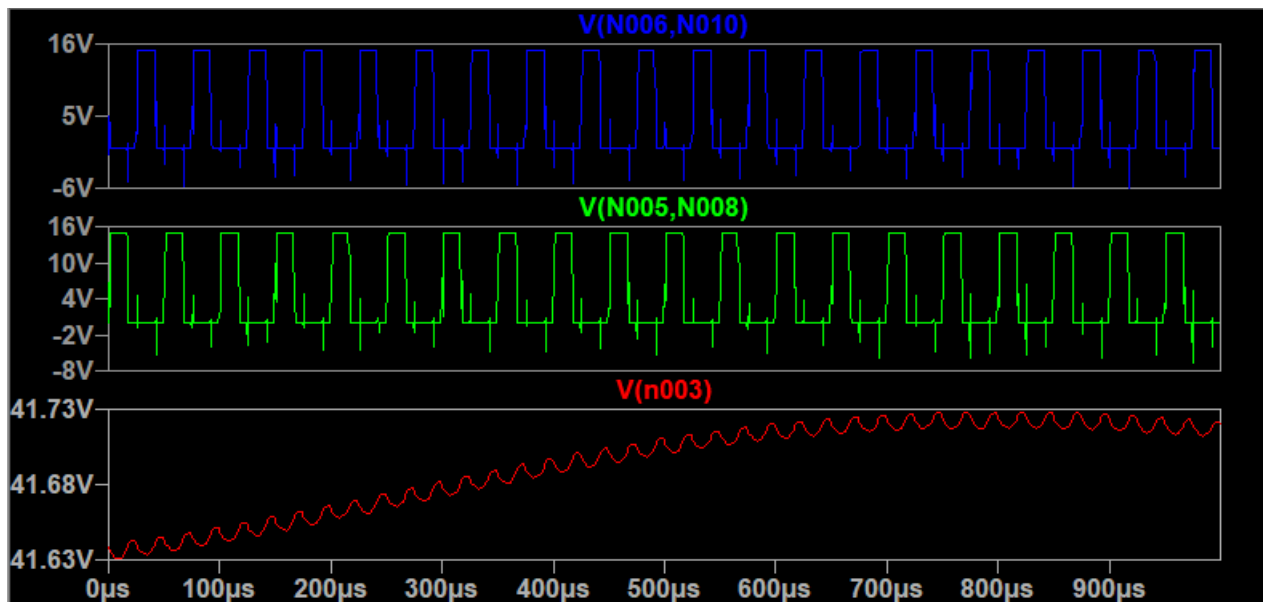
4.2.1 Wartość napięcia wyjściowego w zależności od czasu załączenia przewodzącej pary tranzystorów w stałym okresie sterowania



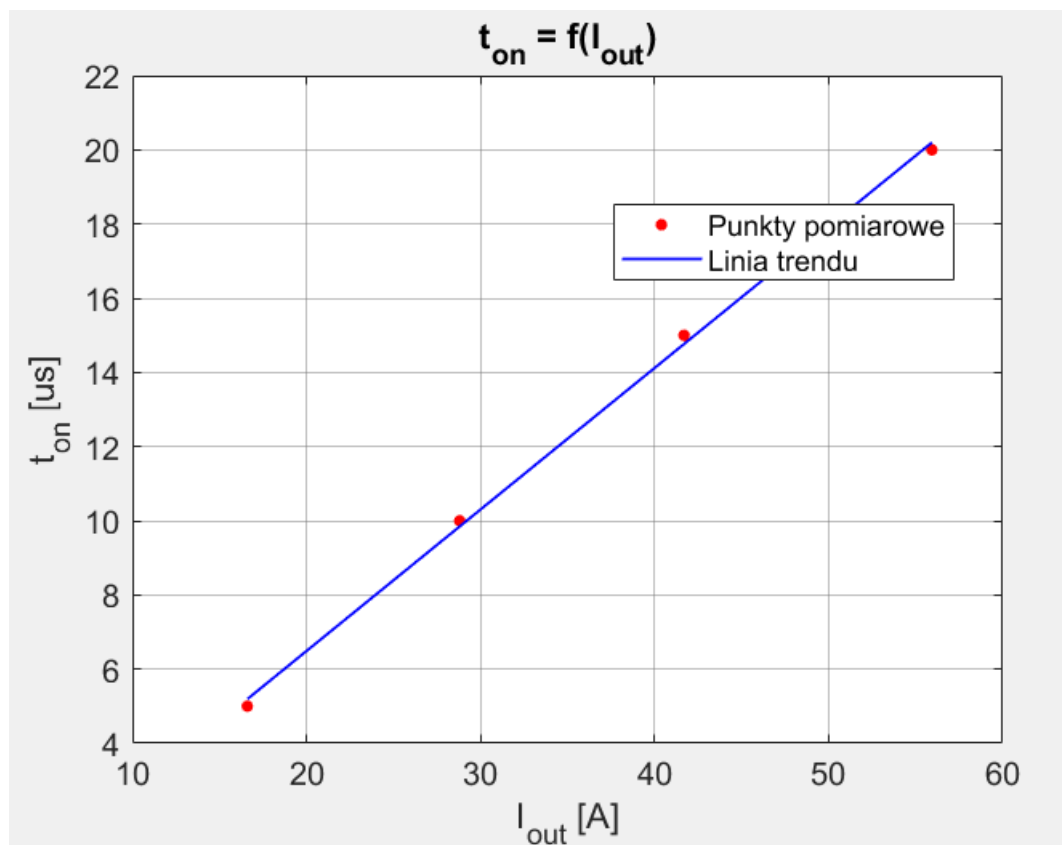
Rys. 6 Zarejestrowane przebiegi sygnałów załączających pary tranzystorów ($t_{on}=5\mu s$) oraz napięcia



Rys. 7 Odczyt napięcia dla $t_{on}=5\mu s$



Rys. 8 Zarejestrowane przebiegi sygnałów załączających pary tranzystorów ($t_{on}=15\mu s$) oraz napięcia

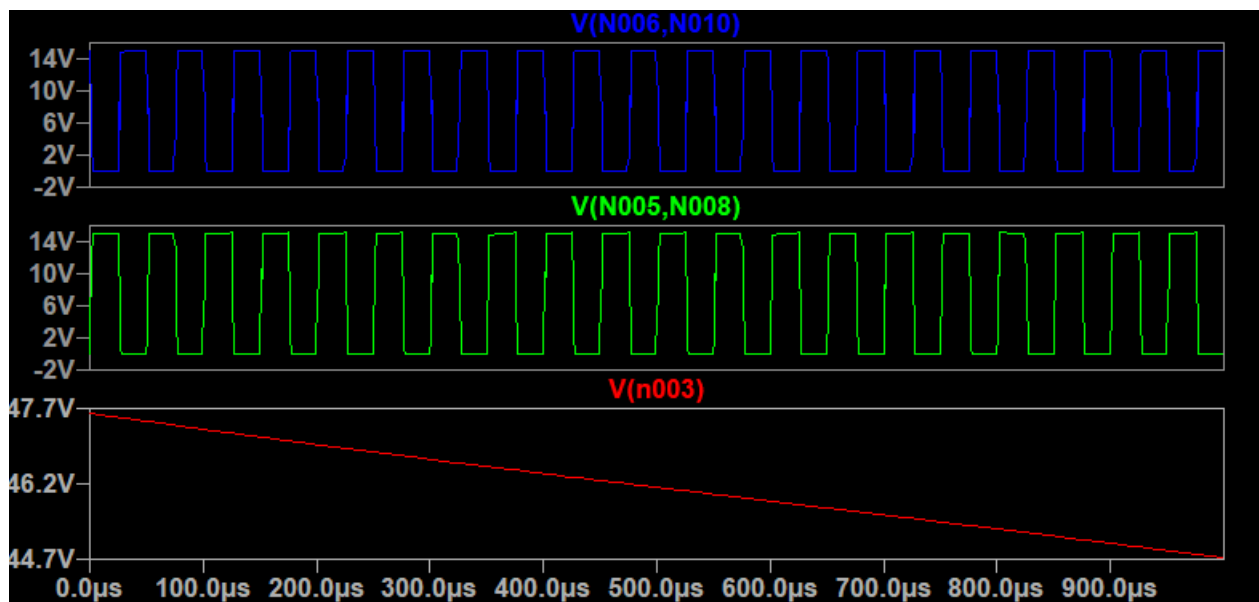


Rys. 9 Charakterystyka napięcia wyjściowego w zależności od czasu załączenia przewodzącej pary tranzystorów

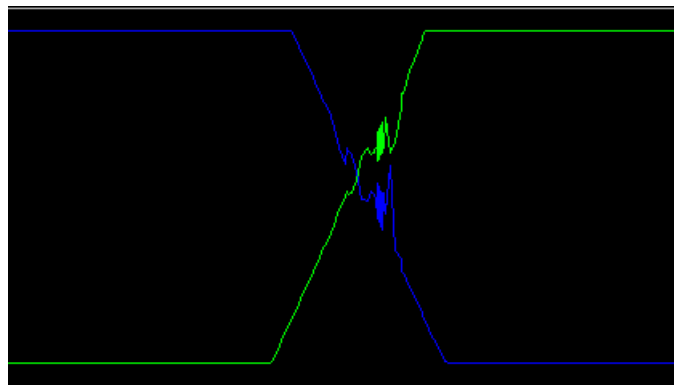
Tab. 1 Wartości napięcia wyjściowego w zależności od czasu załączenia przewodzącej pary

t_{on} [us]	U_{out} [V]
5	16.603
10	28.799
15	41.693
20	55.934

Jak widać na powyższych przebiegach oraz wynikach zebranych tabeli pierwszej i przedstawionych w postaci wykresu. Przebieg charakterystyki napięcia od czasu załączenia tranzystorów ma charakter liniowy. Teoretycznie powinniśmy móc ustawić jego wartość maksymalną na 25us jednak w rzeczywistości tranzystory potrzebują czasu na załączenie i w celu uniknięcia zwarcia i uszkodzenia układu stosuje się czas martwy. W każdym razie jako, iż jest to wyłącznie symulacja poniżej załączyłem przebiegi dla czasu załączenia wynoszącego 23us. Możemy zauważyć, szczególnie po zestawieniu i przybliżeniu obu czasów załączenia w jednym oknie, iż jest on zbyt długi.



Rys. 10 Zarejestrowane przebiegi sygnałów załączających parę tranzystorów ($t_{on}=23\mu s$) oraz napięcia

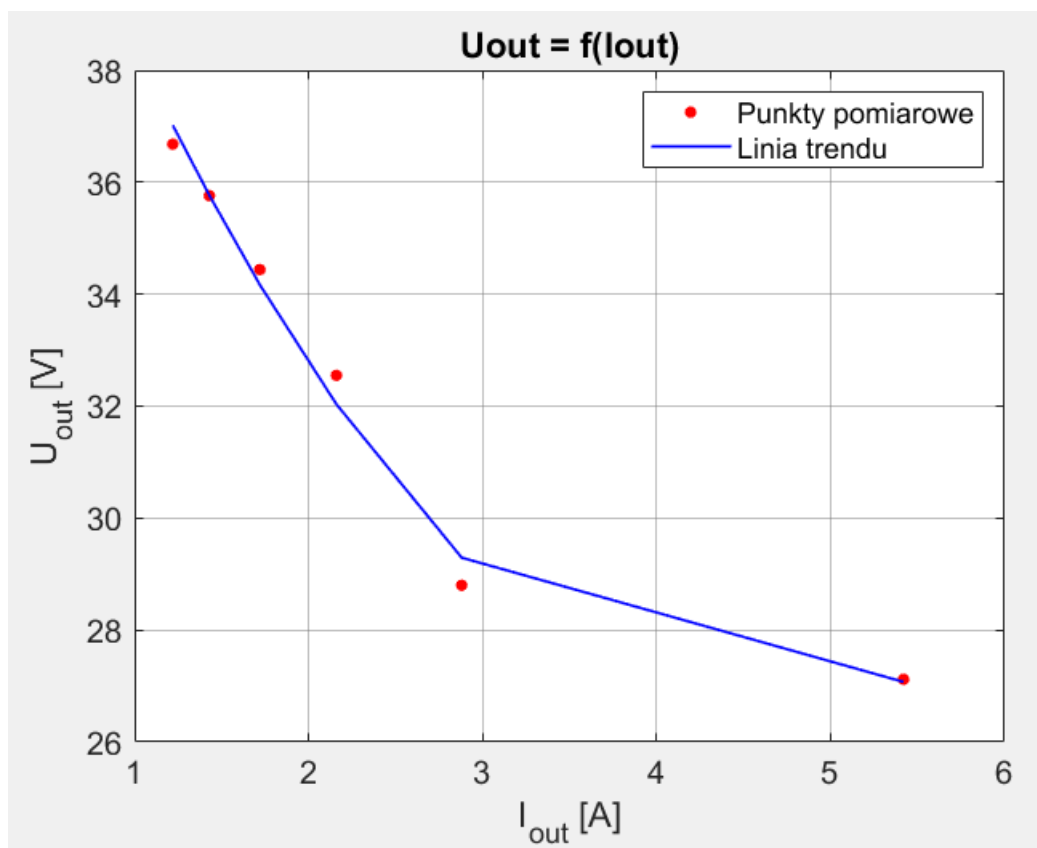


Rys. 11 Zbliżenie na moment przełączania zestawionych w jednym oknie przebiegów sygnałów załączających parę tranzystorów ($t_{on}=23\mu s$) oraz napięcia

4.2.2 Wartość napięcia wyjściowego w zależności od prądu obciążenia układu

Tab. 2 Wartości napięcia wyjściowego w zależności od prądu obciążenia układu

U _{out} [V]	I _{out} [A]
27.12	5.42
28.80	2.88
32.55	2.16
34.44	1.72
35.76	1.43
36.68	1.22



Rys. 12 Charakterystyka napięcia wyjściowego w zależności od prądu obciążenia układu

Teoretycznie w zakresie pracy układu Fullbridge Push-Pull charakterystyka ta tak jak poprzednia powinna być liniowa, a napięcie powinno się zmieniać w niewielkim zakresie. Jak widać wyszedłem poza ten zakres zwiększając zbyt mocno obciążenie (zmniejszenie rezystancji obciążenia poniżej początkowej o połowę).

5. Podsumowanie

Ogólnie rzecz biorąc, konwerter Fullbridge Push-Pull z obwodami mocy o wysokiej częstotliwości oferuje korzyści pod względem rozmiaru, wydajności i precyzji sterowania, ale wymaga starannego zaprojektowania oraz jest drogim rozwiązaniem. Dlatego też powinniśmy się zastanowić czy odpowiada on naszym potrzebom.