

## Harwester z modulatorem RFID

Przedmiotem wynalazku jest harwester z modulatorem RFID stosowany zwłaszcza do układów NFC.

Znany jest z europejskiego wynalazku EP4095754A1 znacznik identyfikacji radiowej (RFID). Znacznik RFID zawiera port anteny do odbierania wejściowego sygnału prądu przemiennego i ogranicznik hybrydowy zawierający urządzenie zaciskowe skonfigurowane do ograniczania napięcia wejściowego sygnału prądu przemiennego do wstępnie skonfigurowanego limitu. Ogranicznik hybrydowy jest skonfigurowany tak, aby zapewnić stabilne odniesienie do masy dla urządzenia mocującego.

W szczególności znane jest z tego wynalazku rozwiązanie harwestera z modulatorem, w którym harwester w formie prostownika połączony jest równolegle z modulatorem, a oba te układy dołączone są do wejść znacznika RFID.

Znany jest z niemieckiego zgłoszenia patentowego DE102005032590A1 wynalazek dotyczący modulatora (M) stosowanego do transmisji danych między transponderem a stacją bazową, który moduluje odebrany elektromagnetyczny sygnał nośny w zależności od danych, które mają być transmitowane, w sposób modulowany amplitudowo i/lub fazowo. Wspomniany modulator zawiera wejście sterujące, do którego przykładany jest sygnał sterujący modulacją, obwód prostownika (GL) do prostowania odebranego elektromagnetycznego sygnału nośnego i zawierający co najmniej jeden stopień prostownika (S1-S3), co najmniej jedno urządzenie obwodu (SE), które może być sterowany za pomocą sygnału sterującego modulacją i który zastępuje, na końcu wyjściowym, co

najmniej jeden stopień prostownika obwodu prostownika i przez który co najmniej jeden węzeł (H1-H3) wspomnianego stopnia prostownika jest zasilany potencjałem odniesienia. Wynalazek dotyczy również transpondera zawierającego taki modulator oraz sposobu modulacji do obsługi takiego modulatora.

W szczególności znane jest z tego wynalazku rozwiązanie harwestera z modulatorem, w którym harwester w formie prostownika ma budowę stopniową (S1, S2, S3), przy czym jeden stopień (S2) zawiera dwa kondensatory (C23, C24) dołączone do zacisków wejściowych układu (A1, GND) i dwie diody (D23, D24) dołączone do kondensatorów oraz do wejścia i wyjścia danego stopnia. Do zacisków jednej z diod (D24), jednego ze stopni (S2) dołączone jest sterowane urządzenie przełączające (SE) sterowane sygnałem sterującym modulacją (MCS), które łączy synchronicznie węzeł N2 z potencjałem odniesienia GND, co dodatkowo lub alternatywnie powoduje kluczkowanie amplitudy fal odbitych. Możliwe są dwa tryby pracy, tj. kluczkowanie amplitudy i kluczkowanie przesunięcia fazowego, mogą one być realizowane jednocześnie lub, w zależności od zastosowania, oddzielnie od siebie.

Znany jest z chińskiego wynalazku CN102104329A harwester w formie prostownika, który ma budowę stopniową, przy czym jeden stopień (116) zawiera dwa kondensatory (108, 106) dołączone do zacisków wejściowych układu (104, 114) i dwie diody (102, 112) dołączone do kondensatorów oraz do wejścia i wyjścia danego stopnia.

Z amerykańskiego patentu US7167090B1 znany jest harwester w formie prostownika i pompy ładunkowej, w którym stopień pompy ładunkowej zawiera dwa kondensatory (55, 56) i cztery tranzystory (51, 52, 53, 54) dołączone do kondensatorów oraz wejść i wyjść tego stopnia, przy czym bramki tranzystorów (51, 53) są dołączone do drenów lub źródeł innych tranzystorów (53, 51).

Znane są w stanie techniki, w szczególności w inżynierii dotyczącej elektroniki, systemy (zdalnej) identyfikacji radiowej RFID (od ang. radio-frequency identification), a w szczególności komunikacja bliskiego zasięgu NFC (od ang. near-field communication). Znane są w stanie techniki tranzystory polowe (FET – od ang. field-effect transistor) z izolowaną bramką, tranzystory cienkowsarstwowe (TFT – od ang. thin-film transistor), jak również tranzystory oparte na indowo-galowym tlenku cynku (IGZO lub InGaZnO – od ang.: indium (In), gallium (Ga), zinc (Zn), oxygen (O)). Wiadome też jest, że oznaczenie drenu i źródła tych

tranzystorów jest umowne, gdyż ze względu na symetryczną budowę tranzystora zamiana tych oznaczeń nie zmienia funkcjonalności tranzystora czy układu, w którym się on znajduje – nazewnictwo to ma jednak charakter porządkujący.

Celem wynalazku jest stworzenie układu harwestera z modulatorem, który rozwiąże problem jednoczesnego efektywnego pozyskiwania mocy wraz z wykonywaniem modulacji o zadanych parametrach.

Istota rozwiązania polega na tym, że w harwestercie z modulatorem RFID posiadającym dwa zaciski wejściowe i dwa zaciski wyjściowe, w którym harwester zawiera przynajmniej dwa stopnie, przy czym pojedynczy stopień zawiera dwa kondensatory i dwa tranzystory, gdzie pierwszy kondensator dołączony jest do pierwszego zacisku wejściowego, a drugi kondensator dołączony jest do drugiego zacisku wejściowego, a tranzystory połączone są drenami i dołączone do pierwszego kondensatora, przy czym pierwszy tranzystor dołączony jest źródłem do wejścia danego stopnia, a drugi tranzystor dołączony jest jego źródłem do drugiego kondensatora i do wyjścia danego stopnia, według wynalazku, bramka jednego z tranzystorów w przynajmniej jednym stopniu harwestera dołączona jest do źródła drugiego tranzystora w tym samym stopniu, podczas gdy bramka i dren drugiego tranzystora w tym stopniu są połączone ze sobą. Ponadto, według wynalazku, w przynajmniej jednym stopniu harwestera bramka jednego z tranzystorów dołączona jest jednocześnie do drugiego zacisku wejściowego poprzez tranzystor modulujący oraz do źródła tranzystora stanowiącego źródło prądowe, podczas gdy bramka i dren drugiego tranzystora w tym stopniu są połączone ze sobą. Ponadto, bramka tranzystora realizującego źródło prądowe jest jednocześnie dołączona do jego drenu tego tranzystora i do wyjścia jednego ze stopni harwestera, a bramka tranzystora modulującego dołączona jest do wejścia modulacji układu.

Efekty techniczne tego rozwiązania są następujące. Dzięki połączeniu bramki i drenu tranzystora pełni on funkcję diody. Dzięki połączeniu bramki jednego z tranzystorów ze źródłem drugiego tranzystora w tym samym stopniu podbijane jest napięcie na bramce tranzystora zapewniając lepszą pracę niż dioda przez szybsze przełączanie. Dzięki zastosowaniu tranzystora modulującego można sterować sprawnością energetyczną harwestera. Dzięki zastosowaniu źródła prądowego uzyskiwana jest wstępna polaryzacja tranzystora danego stopnia.

Korzystnie, wejście pierwszego stopnia dołączone jest do drugiego zacisku wejściowego. Dzięki temu pierwszy stopień całej kaskady dołączony jest do jednego z zacisków wejściowych dostarczających energię do układu.

Korzystnie, drugi zacisk wejściowy stanowi jednocześnie masę całego układu RFID. Dzięki temu wszystkie układy RFID mogą pracować na wspólnym napięciu odniesienia, które tworzy masa.

Korzystnie, harwester z modulatorem RFID pracuje zasadniczo na częstotliwości 13,56 MHz sygnału wejściowego. Dzięki temu możliwe jest zastosowanie układu do realizacji standardu NFC.

Korzystnie, pomiędzy pierwszym zaciskiem wejściowym a pierwszym zaciskiem wyjściowym dołączona jest dioda utworzona z kanału tranzystora, którego bramka dołączona jest do pierwszego zacisku wejściowego. Dzięki temu realizowana jest funkcja diody bocznikującej skracającej czas załączania układu dołączonego do wyjścia harwestera.

Korzystnie, harwester z modulatorem RFID posiada łącznie 3 stopnie. Trzy stopnie zapewniają relatywnie wyższą sprawność układu.

Korzystnie, harwester z modulatorem RFID posiada łącznie 4 stopnie. Cztery stopnie zapewniają relatywnie wyższe napięcie wyjściowe harwestera.

Korzystnie, tranzystor stanowiący źródło prądowe dołączony jest do wyjścia ostatniego stopnia harwestera. Dzięki temu współczynnik modulacji posiada najwyższą wartość.

Korzystnie, tranzystor stanowiący źródło prądowe dołączony jest do wyjścia przedostatniego stopnia harwestera. Dzięki temu kąt otwarcia jest relatywnie mniejszy, a co za tym idzie straty mocy są relatywnie niższe.

Korzystnie, wszystkie tranzystory w układzie są tranzystorami FET typu „n”. Zastosowanie jednego typu tranzystorów polowych FET z izolowaną bramką upraszcza proces technologiczny realizacji układu.

Korzystnie, wszystkie tranzystory w układzie są tranzystorami typu TFT. Zastosowanie tranzystorów cienkowarstwowych TFT pozwala na wykonanie taniego i/lub giętkiego układu scalonego.

Korzystnie, kanały tranzystorów wykonane są z amorficznego materiału półprzewodnikowego. Zastosowanie amorficznego materiału półprzewodnikowego zapewnia niski koszt wytwarzania tranzystorów (w relatywnie niskich temperaturach).

Korzystnie, tranzystory zawierają indowo-galowy tlenek cynku. Zastosowanie indowo-galowego tlenku cynku (IGZO) zapewnia relatywnie wysoki parametr mobilności nośników.

Korzystnie, długości kanałów tranzystorów użytych w stopniach harwestera wynoszą od 400 do 1000 nm. Dzięki temu możliwe jest uzyskanie częstotliwości pracy układu charakterystycznej dla NFC.

Korzystnie, stosunek szerokości do długości kanałów tranzystorów użytych w stopniach harwestera wynosi od 100 do 300. Dzięki tak dużemu stosunkowi W/L tranzystorów, szczególnie gdy ich kanały są technologicznie minimalnej długości, możliwe jest pozyskiwanie mocy wystarczającej dla całego układu RFID.

Korzystnie, stosunek szerokości do długości kanału tranzystora modulującego wynosi od 20 do 50. Dzięki temu wydajność prądowa tranzystora modulującego, szczególnie gdy jego kanał jest technologicznie minimalnej długości, jest odpowiednia do wysterowania tranzystora, do którego bramki jest on dołączony.

Korzystnie, stosunek szerokości do długości kanału tranzystora stanowiącego źródło prądowe wynosi od 0,1 do 0,5. Dzięki znaczącemu wydłużeniu kanału tranzystora, szczególnie gdy jego kanał jest technologicznie minimalnej szerokości, zapewniana jest mała wrażliwość prądu tranzystora na napięcie bramka-źródło realizowanego przez niego źródła prądowego.

Korzystnie, pojemności kondensatorów użytych w stopniach harwestera wynoszą od 30 do 80 pF. Dzięki temu harwester może gromadzić energię wystarczającą dla zasilenia całego układu RFID.

Korzystnie, stosunek pojemności kondensatorów użytych w pierwszym stopniu harwestera do pojemności kondensatorów użytych w pozostałych stopniach harwestera wynosi od 1 do 3. Zwiększenie pojemności kondensatorów pierwszego stopnia zapewnia lepsze podtrzymanie napięcia podczas modulacji.

Przykład wykonania został uwidoczniony na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia schemat ideowy czterostopniowego harwestera z modulatorem RFID.

Harwester z modulatorem RFID w przykładzie wykonania przedstawionym na fig. 1 posiada dwa zaciski wejściowe **RF1** i **RF2** oraz dwa zaciski wyjściowe **HRV** i **GND**, pomiędzy którymi znajdują się cztery stopnie harwestera **S1**, **S2**, **S3** i **S4**. Podstawową, zasadniczą strukturę każdego stopnia przedstawia stopień drugi **S2**, który posiada dwa kondensatory **C1** i **C2** oraz dwa tranzystory **T1** i **T2**. Pierwszy kondensator **C1** dołączony jest do pierwszego zacisku wejściowego **RF1**, a drugi kondensator **C2** dołączony jest do drugiego zacisku wejściowego **RF2**. Obydwa tranzystory **T1** i **T2** połączone są drenami i dołączone do pierwszego kondensatora **C1**. Pierwszy tranzystor **T1** dołączony jest źródłem do wejścia drugiego stopnia **S2**. Drugi tranzystor **T2** dołączony jest jego źródłem do drugiego kondensatora **C2** oraz do wyjścia drugiego stopnia **S2**. Bramka pierwszego tranzystora **T1** dołączona jest do źródła drugiego tranzystora **T2**, a bramka i dren drugiego tranzystora **T2** są ze sobą zwarte, tworząc diodę.

Budowa pierwszego stopnia **S1** harwestera z modulatorem RFID zasadniczo odpowiada budowie drugiego stopnia **S2**, z tą różnicą, że bramka pierwszego z tranzystorów **T<sub>w</sub>** tego stopnia dołączona jest jednocześnie do drugiego zacisku wejściowego **RF2** poprzez tranzystor modulujący **T<sub>m</sub>** oraz do źródła tranzystora **T<sub>z</sub>**, który dołączony jest do wyjścia trzeciego stopnia harwestera **S3**. Bramka i dren tego tranzystora **T<sub>z</sub>** są ze sobą połączone, dzięki czemu tranzystor **T<sub>z</sub>**, przy odpowiednio długim kanale, pełni w układzie funkcję źródła prądowego. Natomiast bramka tranzystora modulującego **T<sub>m</sub>** dołączona jest do wejścia modulacji układu **M**. Dzięki znaczącemu wydłużeniu kanału tranzystora **T<sub>z</sub>**, szczególnie gdy jego kanał jest technologicznie minimalnej szerokości, zapewniana jest mała wrażliwość prądu tranzystora na napięcie bramka-źródło realizowanego przez niego źródła prądowego.

Budowa trzeciego stopnia **S3** harwestera z modulatorem RFID jest identyczna z budową drugiego stopnia **S2** harwestera.

Budowa czwartego stopnia **S4** harwestera z modulatorem RFID zasadniczo odpowiada budowie drugiego stopnia **S2**, z tą różnicą, że pomiędzy pierwszym zaciskiem wejściowym **RF1** a pierwszym zaciskiem wyjściowym **HRV** dołączony jest tranzystor **T<sub>d</sub>**, którego bramka dołączona jest do pierwszego zacisku wejściowego **RF1**, tworząc diodę bocznikującą.

Dołączenie anteny NFC do wejść harwestera **RF1** i **RF2** pozwala na pozyskanie energii z sygnału RF, która jest przekazywana dalej do kolejnych podukładów analogowych takich

jak: dzielnik częstotliwości nośnej czy demodulator AM. Cały układ znacznika RFID może być zasilany z pojedynczego harwestera, który działa zarówno jako prostownik, jak i mnożnik napięcia sygnału nośnego, gdzie częstotliwość nośna dla NFC wynosi 13,56 MHz. Napięcie z harwestera waha się zwykle od 2,5 V do 5 V – w zależności od bliskości anteny do źródła sygnału, poziomu modulacji czytnika NFC i chwilowego rozproszenia mocy znacznika. Połączenie funkcji harwestera i modulatora pozwoliło zmniejszyć zajmowaną powierzchnię i całkowite rozpraszanie mocy. W tym rozwiązaniu chwilowa wydajność harwestera zależy od cyfrowego sygnału na wejściu modulacji **M**. Dlatego zmiana napięcia na tym wejściu **M** wpływa na chwilowy mnożnik napięcia, a tym samym na chwilowy prąd chwilowy anteny i wypadkowe napięcie wyjściowe. Technika ta zapewnia właściwy poziom modulacji AM (>10%) i eliminuje konieczność stosowania dodatkowego układu modulatora. Wewnętrzny układ odpowiedzi znacznika NFC dostarcza zakodowaną wiadomość, sterując harvesterem za pomocą sygnału modulującego.

Harwester w prezentowanym przykładzie wykonania składa się z czterech półsinusoidalnych stopni zwielokrotniających napięcie oraz diody bocznikującej, wykonanej z tranzystora **Td**, skracającej czas załączenia. Minimalna amplituda sygnału RF zapewniająca pracę układu jest ściśle związana z parametrem napięcia progowego tranzystorów. Jednak właściwe minimum przyjmuje się za 1,8 V. Logiczna jedynka podana do wejścia modulacji **M** zmniejsza napięcie bramka-źródło klucza tranzystorowego **Tw**. Efektywny kąt przewodzenia diody **Tw** spada. Odwrotny stan logiczny na wejściu modulacji **M** (tj. zero logiczne) zwiększa kąt przewodzenia **Tw**, prowadząc do niższej wydajności układu i wyższego chwilowego przepływu prądu przez anteny znacznika i czytnika. W ten sposób uzyskuje się wystarczający współczynnik modulacji AM, który dochodzi do 10% wymaganych przez standard NFC Type-1.

Wynalazek pozwala na pozyskiwanie mocy z sygnału RF anteny na tyle wydajnie, aby zasilić wszystkie kolejne podukłady znacznika RFID oraz modulować sygnał zapewniając komunikację zwrotną od znacznika. Przemysłowe zastosowanie wynalazku znajduje się w przemyśle i rynku produktów wymagających indywidualnych oznakowań elektronicznych.