

Kłopoty z fazą czyli o... kołach rowerowych

Jeden z Czytelników nadesłał do Redakcji rozpacziwą prośbę o pomoc. Oto fragment listu: "... kupiłem toroid, który ma dzielone uzwojenia wtórne 2x15V. Chciałem je połączyć w szereg, żeby otrzymać 30V. Jakież było moje zdziwienie, kiedy po podłączeniu nic nie działało, a woltomierz wskazywał 0,6...1,8V, czyli same 'śmieci'... Nie wiem co jest grane. Proszę o pomoc!"

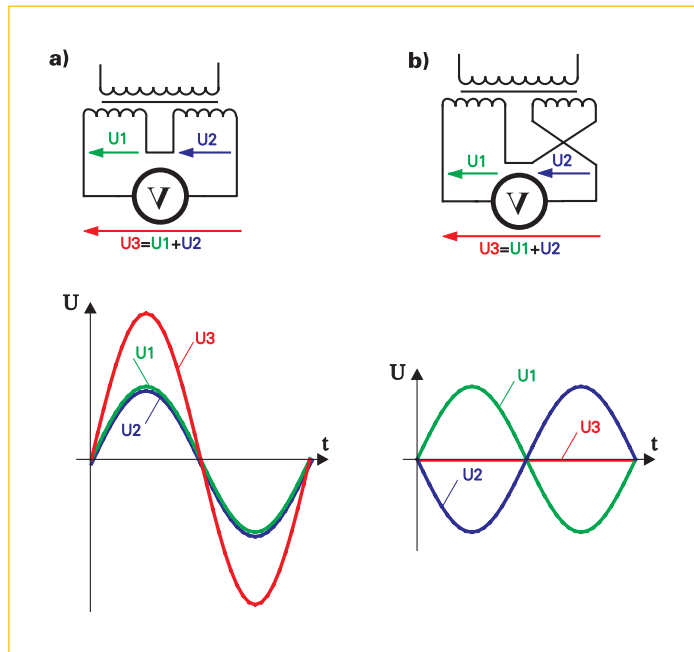
Kolega dziwi się, jakim cudem 15+15 nie równa się 30 tylko 1,6...1,8. Zapomniał o fazowaniu. Tymczasem wystarczyło zamienić miejscami końcówki jednego uzwojenia, a wszystko byłoby dobrze.

Inny Czytelnik prosi o wyjaśnienie: "jak to jest, że suma napięć (zmiennych) na kondensatorze i rezystorze jest większa od napięcia zasilającego?(...) Jak dodawać takie napięcia?"

Ponieważ podobne pytania co jakiś czas pojawiają się w redakcyjnej poczcie, problem fazy i fazowania należy wyjaśnić szerzej.

Przy sumowaniu napięć zmiennych należy pamiętać, że mierniki najczęściej pokazują wartości skuteczne napięcia, natomiast w układach tak naprawdę sumowane są napięcia chwilowe, a te mogą być dodatnie lub ujemne. **Rysunek 1** pokazuje dwa przykłady sumowania napięć sinusoidalnie zmiennych. Jak wskazują mierniki, oba dodawane napięcia mają jednakową wartość. W pierwszym przypadku mają też jednakową fazę, w drugim fazy są przeciwne (co uzyskuje się zamieniając końcówki jednego z uzwojeń). Jak pokazuje rysunek 1a, przy zgodnych fazach napięcia po prostu się dodadzą. Nietrudno się domyślić, że przy fazach przeciwnych napięcia odejmą się i zniósą (gdyby były identyczne, napięcie wyjściowe byłoby dokładnie równe zero). Pokazuje to rysunek 1b.

Problem fazy dotyczy jednak nie tylko przebiegów o fazach zgodnych lub przeciwnych. Jaki będzie rezultat zsumowania dwóch spośród trzech "jednakowych" przebiegów z **rysunku 2**? Tak przesunięte przebiegi występują w trzech przewodach trójfazowej sieci energetycznej, z której powszechnie korzystamy w naszych domach. (Początkujących trzeba oświecić, iż nieprawdziwa jest opinia, jakoby w sieci trójfazowej jednym przewodem płynęły wolt, drugim ampere, a trzecim kosinus fi.) Te tajemnicze trzy "fazy" to trzy przebiegi sinusoidalne o jednakowej wartości, tylko w pe-

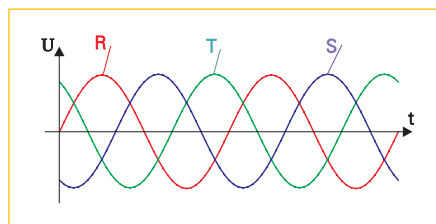


Rys. 1 Sumowanie napięć transformatora

wien sposób przesunięte względem siebie, jak pokazuje rysunek 2.

Rysunek 3 ilustruje przykładowy sposób sumowania dwóch z nich. Ku ogromnemu zaskoczeniu niektórych, trzeci woltomierz z rysunku 3 będzie pokazywał napięcie takie same jak woltomierze 1 i 2. Napięcie po zsumowaniu ma wartość taką, jak każdy ze składników. Czyżby 1+1=1? **Rysunek 4** wyjaśnia przyczynę, pokazując, jak w rzeczywistości odbywa się takie sumowanie (wartości chwilowych). Dla kilku chwil zaznaczono pionowe linie pokazujące, jak w tych punktach odbywa się sumowanie chwilowych wartości napięcia.

Jak widać z trzech podanych przykładów, efekt sumowania przebiegów o tych samych amplitudach, kształcie, częstotliwości, ale

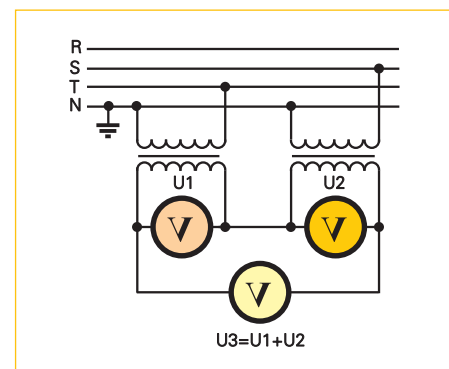


Rys. 2 Przebieg sieci energetycznej trójfazowej

o różnych fazach, silnie zależy właśnie od fazy (czyli od wzajemnego przesunięcia tych przebiegów).

Dla faz zgodnych (bez przesunięcia - rysunek 1a) przebieg wypadkowy jest największy, dla faz przeciwnych (rys. 1b) - równy zero. Dla pośrednich wartości przesunięcia, wartość przebiegu wypadkowego również przyjmuje wartości pośrednie. Zmienia się wtedy zarówno amplituda, jak i faza.

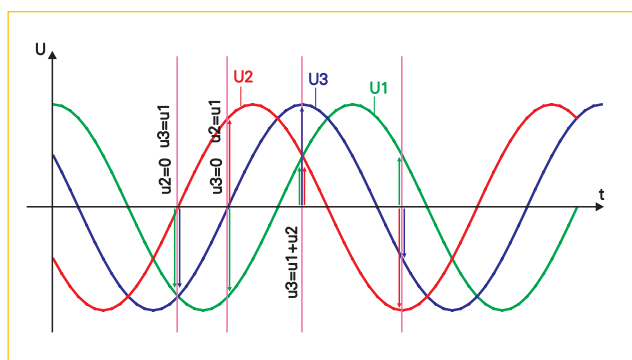
Z pewnych względów w elektronice bardzo często mamy do czynienia z przebiegami przesuniętymi jak na **rysunku 5**. Taka właśnie sytuacja zachodzi w szeregowym obwodzie prądu zmiennego z rezystorem i kondensatorem. Fachowo mówiąc, przebiegi napięcia na rezystorze i kondensatorze są przesunięte o 90 stopni (kąąt prosty). Podobnie przesunięte są przebiegi w układzie zawierającym indukcyjność i rezystancję. Tu również występuje przesunięcie o 90 stopni. Sprawa ta była swego czasu szeroko omawiana w Listach od Piotra. Te stopnie (kąty) nie są



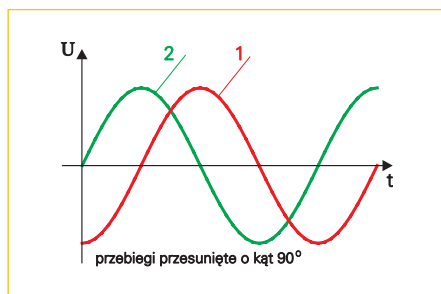
Rys. 3 Sumowanie napięć z dwóch faz sieci energetycznej

wydumaną teorią, tylko mają silny związek z rzeczywistością.

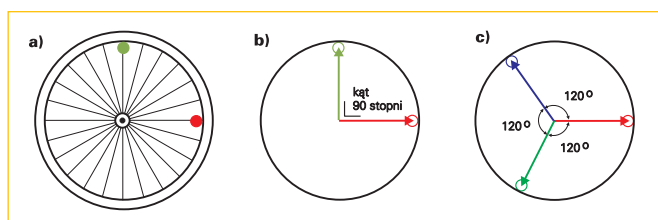
Przebieg sinusoidalny jest w pewnym sensie wynikiem ruchu obrotowego. Choć nie jest to do końca prawdą, w pierwszym przybliżeniu można sobie wyobrazić, że światełko odbłaskowe zamontowane między szprychami koła roweru, podczas jazdy kreśli linię (z grubsza) sinusoidalną. Nie ma potrzeby wdawać się w szczegóły - na podstawie tego prostego przykładu pojęcie fazy można zilustrować następująco: dwa odbłaski umieszczone są na tym samym kole. Odbłaski są przesunięte właśnie o 90 stopni, czyli kąt jaki wytycza odbłask1 - oś obrotu - odbłask 2, jest kątem prostym - porównaj rysunek 6a i 6b. Przebiegi, jakie będą kreślić oba odbłaski podczas toczenia koła będą przesunięte... właśnie o 90 stopni, jak pokazuje rysunek 5. Aby z kolei uzyskać trzy przebiegi, jak na rysunku 2, trzy odbłaski powinny być umieszczone na kole, jak pokazuje rysunek 6c.



Rys. 4 Sumowanie dwóch przebiegów przesuniętych o 120 stopni



Rys. 5 Przebiegi przesunięte o 90 stopni



Rys. 6 Faza jako kąt przesunięcia

Inny przykład pokazujący źródło przebiegów z rysunku 5, to dwie identyczne prądnice (dające na wyjściu przebiegi sinusoidalnie zmienne), mające wspólny wał napędowy, gdzie wirniki obu prądnic są w stosunku do siebie przesunięte o kąt 90 stopni. Na marginesie należy zauważyć, że trzy przebiegi z rysunku 2 są wzajemnie przesunięte

o 120° (3*120°=360°), co wskazuje, że jakieś elementy generatorów w elektrowni są wzajemnie przesunięte właśnie o najprawdziwszy kąt 120°.

Ktoś mógłby zapytać, jaką fazę ma pojedynczy przebieg sinusoidalny? Odpowiedź jest następująca: w przypadku pojedynczego przebiegu nie mówimy o fazie. Pojęcie fazy ma sens przy opisie dwóch lub więcej przebiegów o jednakowej częstotliwości. Tylko wtedy faza da się określić jako pewien rzeczywisty kąt. W praktyce przyjmuje się zwykle, że jeden z przebiegów jest przebiegiem odniesienia (faza równa zero) i fazy innych przebiegów odnosi się do niego.

Tu jeszcze raz należy mocno podkreślić, pojęcie fazy ma sens jedynie w przypadku przebiegów o tej samej częstotliwości (przy czym przebiegi te mogą się różnić wielkością czyli

amplitudą, nawet kształtem i właśnie

fazą). Gdy częstotliwości dwóch przebiegów są różne, pojęcie fazy jako stałego kąta przesunięcia traci sens. Można to zilustrować przykładem dwóch jadących obok siebie rowerów z odbłaskami w kołach, przy czym jeden z nich to stary męski rower z kołami o średnicy 28 cali, a drugi to mały rowerki dziecięcy z kołami o średnicy powiedzmy 12 cali.

Oczywiście ze względu na różnice wymiarów prędkość obrotowa kół obu rowerów będzie różna, częstotliwości obu kreślonych przebiegów będą zdecydowanie inne i nie można mówić o żadnym stałym kącie przesunięcia.

Wyczuwając intuicyjnie sens pojęcia "fazy" jako pewien rzeczywisty, stały kąt, nie trudno przyjąć do wiadomości, że sumowanie wartości skutecznych przebiegów skutecznych sinusoidalnie zmiennych nie polega na zwykłym dodawaniu, tylko na składaniu dwóch wektorów ustawionych do siebie pod tym właśnie kątem. Jeśli chodzi o dodawanie napięć zmiennych i dodawanie wektorów, podany przykład ścigających się rowerzystów niczego nie wyjaśnia. Dlatego w tej chwili należy zapomnieć o rowerzystach i kołach, pamiętając tylko, że wektory reprezentują nasze napięcia zmienne, jak pokazano na rysunkach 6b i 6c. Groźna nazwa wektor nie powinna przestraszyć nawet najmłodszych Czytelników - na rysunkach są to odpowiednio skierowane strzałki. W przykładzie z kołem rowerowym początkiem wektora jest oś obrotu, a końcem - światełko odbłaskowe (zobacz rysunek 6b), w przypadku napięć długość wektora wskazuje na wartość napięcia. Samo dodawanie wektorów to nic trudnego. Rysunek 7 pomoże nawet najmłodszemu poznać (beznadziejnie prostą) zasadę dodawania wektorów. Wektory reprezentujące nasze napięcia zmienne, mają jednakową długość. Różny jest tylko kąt między nimi. Rysunek 7a pokazuje dodawanie dwóch wektorów o fazach zgodnych - porównaj rysunek 1a. Rysunek 7b ilustruje sytuację z rysunku 1b. Rysunek 7c tłumaczy, dlaczego "1+1=1" z rysunków 3 i 4. Natomiast rysunek 7d pokazuje, że po zsumowaniu jednakowych przebiegów z rysunku 5, przebieg wypadkowy jest $\sqrt{2}$ (czyli 1,4142...) razy większy od każdego z nich. I na odwrót - przebiegi składowe (napięcia na rezystancji oraz pojemności) są 2 razy mniejsze od wartości napięcia zasilającego. W mierze logarytmicznej to 1,41... czyli pierwiastek z dwóch to po prostu 3dB. Zarówno te 90° jak i te 3dB w elektronicznych obliczeniach występują bardzo często i nie jest to przypadek. Ale to już inna historia...

Rys. 7 Dodawanie wektorów

I oto analiza uproszczonych przykładów z rowerami doprowadziła z jednej strony do liczb zespolonych, z drugiej do decybeli. Jedne i drugie są bardzo często wykorzystywane do obliczeń, choć niewiele mają ze sobą wspólnego. Okazuje się, że właśnie liczby zespolone doskonale nadają się do przeprowadzania obliczeń dotyczących przebiegów zmiennych. Pokazane na rysunku 7 sumowanie wektorów odpowiada najzwyczajnijszemu dodawaniu liczb zespolonych. Wykorzystanie liczb zespolonych pozwala genialnie uprościć różne rachunki. "Rasowy" elektronik powinien rozumieć te zagadnienia, choć nieczęsto będzie przeprowadzał takie obliczenia.

Temat liczb zespolonych był bardzo przystępnie przedstawiony w EdW 7 i 8/97 natomiast miara decybelowa była opisana w EdW 5/98.

Piotr Górecki