|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Katedra Energoelektryki**  Zespół Urządzeń  Elektroenergetycznych | | **Laboratorium Urządzeń**  **i Instalacji Elektrycznych** | | |
| Rok akad.: **2019/20** | Nr grupy lab. : | Skład grupy: | | |
| Studia : **S1I/ ETK** | **3** | 1. Kacper Borucki (protokół, sprawozdanie)  2. Robert Leśniak  3. Artur Walaszczyk | | |
| Rok/semestr: **III/5** |
| Ćwiczenie nr : **9** | | Data wykonania ćwiczenia | Data oddania sprawozdania | Ocena |
| Łączniki statyczne prądu przemiennego | | **2019-11-05** | 2019-11-12 |  |

# Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia było zapoznanie się z budową i podstawowymi właściwościami jednofazowych łączników statycznych prądu przemiennego oraz z możliwościami wykorzystania tych układów do sterowania parametrami energii elektrycznej pobieranej przez odbiornik.

# Przebieg ćwiczenia

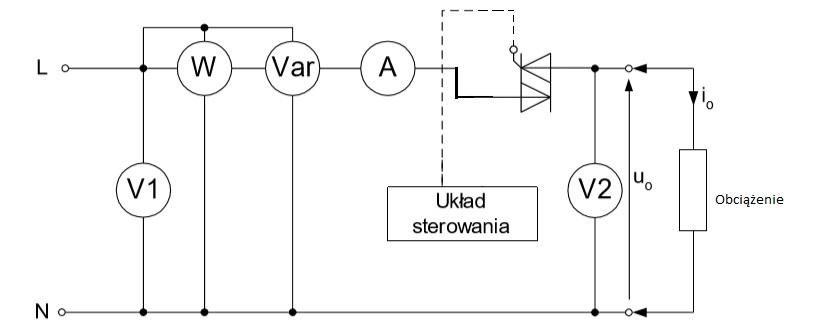
* Badanie przebiegów sygnałów podczas sterowania fazowego w obwodach:
  + Rezystancyjnym
  + Indukcyjnym
  + Rezystancyjno-indukcyjnym
* Obserwacja przebiegów prądu i napięcia podczas sterowania impulsowego
* Zapoznanie się ze sposobem działania sterowania kluczowego

# Spis przyrządów

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Przyrząd** | **Nr inwentarzowy** | **Oznaczenie na schemacie** |
| Transformator oddzielający 800VA | I8IVa-2642 | - |
| Woltomierz LE-1 | I8IVa-2313 | V1 |
| Woltomierz LE-3 | Nr 610 | V2 |
| Amperomierz LE-1 | I8IVa-928W | A |
| Watomierz LW-1 | Eksponat | W |
| Watomierz (waromierz) LW-1 | - | Var |
| Oscyloskop Hamel HM507 | 019/I8/664/T/1353 | - |

# Układy pomiarowe

### Schemat 1: Układ pomiarowy do badania możliwości łącznika statycznego:



# Tabele pomiarowe i obliczeniowe

## Sterowanie fazowe

### Tabela 1: Pomiary obwodu o charakterze rezystancyjnym

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **1** | 0 | 238 | 0,29 | 70 | 0,00 | 235 | 1,00 | 0,99 | 1,01 | 1,00 |
| **2** | 10 | 238 | 0,29 | 70 | 0,00 | 235 | 1,00 | 0,99 | 1,01 | 1,00 |
| **3** | 20 | 238 | 0,29 | 70 | 0,00 | 235 | 1,00 | 0,99 | 1,01 | 1,00 |
| **4** | 30 | 238 | 0,29 | 69,5 | 2,31 | 235 | 0,99 | 0,99 | 1,01 | 1,00 |
| **5** | 40 | 238 | 0,285 | 68 | 4,62 | 230 | 0,97 | 0,97 | 1,00 | 1,00 |
| **6** | 50 | 238 | 0,283 | 66 | 8,08 | 225 | 0,94 | 0,95 | 0,98 | 0,99 |
| **7** | 60 | 238 | 0,278 | 63 | 11,55 | 217,5 | 0,90 | 0,91 | 0,95 | 0,98 |
| **8** | 70 | 238 | 0,272 | 59,5 | 15,01 | 210 | 0,85 | 0,88 | 0,92 | 0,97 |
| **9** | 80 | 238 | 0,262 | 54 | 18,48 | 195 | 0,77 | 0,82 | 0,87 | 0,95 |
| **10** | 90 | 238 | 0,25 | 47,5 | 20,78 | 175 | 0,68 | 0,74 | 0,80 | 0,92 |
| **11** | 100 | 238 | 0,24 | 42 | 23,09 | 160 | 0,60 | 0,67 | 0,74 | 0,88 |
| **12** | 110 | 238 | 0,22 | 35 | 23,09 | 137,5 | 0,50 | 0,58 | 0,67 | 0,83 |
| **13** | 120 | 238 | 0,2 | 29 | 23,09 | 115 | 0,41 | 0,48 | 0,61 | 0,78 |
| **14** | 130 | 239 | 0,175 | 22 | 20,78 | 90 | 0,31 | 0,38 | 0,53 | 0,73 |
| **15** | 140 | 239 | 0,155 | 18 | 17,32 | 72,5 | 0,26 | 0,30 | 0,49 | 0,72 |
| **16** | 150 | 239 | 0,125 | 14 | 13,86 | 45 | 0,20 | 0,19 | 0,47 | 0,71 |
| **17** | 160 | 240 | 0,1 | 9 | 10,39 | 25 | 0,13 | 0,10 | 0,38 | 0,65 |
| **18** | 170 | 240 | <0,1 | 8 | 10,39 | 17 | 0,11 | 0,07 | - | - |
| **19** | 180 | 240 | <0,1 | 6,5 | 0,00 | 0 | 0,09 | 0,00 | - | - |

### Tabela 2: Pomiary obwodu o charakterze indukcyjnym

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **1** | 0 | 234 | 0,435 | 43 | 90,1 | 230 | 1,00 | 0,98 | 0,42 | 0,43 |
| **2** | 60 | 233 | 0,43 | 42,5 | 90,1 | 230 | 0,99 | 0,99 | 0,42 | 0,43 |
| **3** | 80 | 233 | 0,425 | 42 | 87,8 | 227,5 | 0,98 | 0,98 | 0,42 | 0,43 |
| **4** | 90 | 235 | 0,355 | 34 | 73,9 | 210 | 0,79 | 0,89 | 0,41 | 0,42 |
| **5** | 100 | 236 | 0,285 | 27 | 60,0 | 190 | 0,63 | 0,81 | 0,40 | 0,41 |
| **6** | 110 | 236 | 0,22 | 20 | 43,9 | 165 | 0,47 | 0,70 | 0,39 | 0,41 |
| **7** | 120 | 238 | 0,168 | 15,5 | 32,3 | 142,5 | 0,36 | 0,60 | 0,39 | 0,43 |
| **8** | 130 | 238 | 0,115 | 12 | 20,8 | 115 | 0,28 | 0,48 | 0,44 | 0,50 |
| **9** | 140 | 238 | 0,1 | 9,5 | 13,9 | 90 | 0,22 | 0,38 | 0,40 | 0,57 |
| **10** | 150 | 239 | <0,1 | 8 | 6,9 | 65 | 0,19 | 0,27 | - | 0,76 |
| **11** | 160 | 239 | <0,1 | 7 | 2,3 | 40 | 0,16 | 0,17 | - | 0,95 |
| **12** | 170 | 225 | <0,1 | 59 | 154,7 | 205 | 1,37 | 0,91 | - | 0,36 |

### Tabela 3: Pomiary obwodu o charakterze rezystancyjno-indukcyjnym

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **1** | 0 | 231 | 0,579 | 102 | 87,8 | 227,5 | 1,00 | 0,98 | 0,76 | 0,76 |
| **2** | 52 | 231 | 0,576 | 102 | 86,6 | 227,5 | 1,00 | 0,98 | 0,77 | 0,76 |
| **3** | 60 | 231 | 0,565 | 98 | 85,4 | 225 | 0,96 | 0,97 | 0,75 | 0,75 |
| **4** | 70 | 231 | 0,538 | 93 | 83,1 | 215 | 0,91 | 0,93 | 0,75 | 0,75 |
| **5** | 80 | 232 | 0,485 | 82 | 77,4 | 200 | 0,80 | 0,86 | 0,73 | 0,73 |
| **6** | 90 | 233 | 0,435 | 70 | 69,3 | 185 | 0,69 | 0,79 | 0,69 | 0,71 |
| **7** | 100 | 234 | 0,385 | 59 | 61,2 | 165 | 0,58 | 0,71 | 0,65 | 0,69 |
| **8** | 110 | 235 | 0,325 | 46 | 50,8 | 142,5 | 0,45 | 0,61 | 0,60 | 0,67 |
| **9** | 120 | 235 | 0,275 | 36 | 41,6 | 120 | 0,35 | 0,51 | 0,56 | 0,65 |
| **10** | 130 | 236 | 0,225 | 27 | 32,3 | 92,5 | 0,26 | 0,39 | 0,51 | 0,64 |
| **11** | 140 | 238 | 0,185 | 20 | 24,2 | 70 | 0,20 | 0,29 | 0,45 | 0,64 |
| **12** | 150 | 239 | 0,136 | 0 | 16,2 | 42,5 | 0,00 | 0,18 | 0,00 | 0,00 |
| **13** | 160 | 239 | 0,105 | 0 | 11,5 | 25 | 0,00 | 0,10 | 0,00 | 0,00 |
| **14** | 170 | 239 | 0,1 | 0 | 9,2 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| **15** | 180 | 239 | <0,1 | 0 | 0,0 | 0 | 0,00 | 0,00 | - | - |

# Przykładowe obliczenia

### Wyznaczenie zależności [tabela 3, lp. 4]:

### Wyznaczenie zależności [tabela 3, lp. 4]:

### Wyznaczenie [tabela 2, lp. 5]:

### Wyznaczenie [tabela 2, lp. 5]:

# Charakterystyki

### Wykres 1: Charakterystyki

### Wykres 2: Charakterystyki

### Wykres 3: Charakterystyki

### Wykres 4: Charakterystyki

### Wykres 5: Charakterystyki dla obwodu RL

# Przebiegi sygnałów

### Rysunek 1: Porównanie przebiegów widocznych na oscyloskopie w przypadku obwodu o charakterze rezystancyjnym.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
|  |  |  |

### Rysunek 2: Porównanie przebiegów widocznych na oscyloskopie w przypadku obwodu o charakterze indukcyjnym.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
|  |  |  |

### Rysunek 3: Porównanie przebiegów widocznych na oscyloskopie w przypadku obwodu o charakterze rezystancyjno-indukcyjnym.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |

### Rysunek 4: Porównanie przebiegów widocznych na oscyloskopie przy różnych ustawieniach współczynnika wypełnienia i okresu impulsowania.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
|  |  |  |

### Rysunek 5: Przebiegi podczas sterowania kluczowego.

|  |  |
| --- | --- |
| Pełne wysterowanie (przewodzenie) | Brak wysterowania (otwarcie) |
|  |  |

# Uwagi i wnioski

## Ogólne

* Podczas ćwiczenia zapoznano się z praktycznym zastosowaniem sterowanych łączników statycznych, w trzech przypadkach sterowania: kluczowego, impulsowego oraz fazowego.
* Zastosowano odpowiednie oznaczenia: R – obwód o charakterze rezystancyjnym; L – obwód o charakterze indukcyjnym; RL – obwód o charakterze rezsystancyjno-indukcyjnym.

## Sterowanie fazowe

* W przypadku obwodu R łatwo zauważyć pojawienie się mocy odkształcenia – wskazanie waromierza zwiększa się z każdym kolejnym pomiarem. Moc odkształcenia to jeden z negatywnych skutków tego typu sterowania.
* W przypadku obwodów L i RL, wskazania waromierza początkowo związane są z mocą bierną, dlatego dopiero od pewnego kąta wysterowania łącznika można zauważyć znaczne różnice między współczynnikiem mocy a wyrażającym kąt przesunięcia między pierwszą harmoniczną prądu a napięciem. Fakt ten stanowi dowód na to, że wyznaczenie dla sterowanego obwodu nie jest tym samym, co wyznaczenie współczynnika mocy . Porównawcza charakterystyka oraz dla obwodu RL została przedstawiona na wykresie 5.
* Duży kąt wysterowania () w przypadku obwodu L doprowadził do znacznego skoku wskazań wszystkich przyrządów. Niestety, nie udało się znaleźć jednoznacznego wytłumaczenia tego zjawiska.
* Biorąc pod uwagę charakterystyki oraz z wykresów 1 i 2 można stwierdzić, że sterowanie fazowe jest skuteczną metodą regulacji zarówno napięcia, jak i mocy odbiornika. Analiza przebiegu tych charakterystyk pozwala zauważyć, że im bardziej indukcyjny charakter ma obwód, tym większy kąt wysterowania powoduje zmianę mocy czynnej i napięcia odbiornika, a także że zmiana ta jest gwałtowniejsza niż przy charakterystyce obwodu rezystancyjnego.
* W obwodzie R prąd i napięcie są ze sobą w fazie, więc zmiany ich przebiegów są widoczne na oscyloskopie już od niewielkich kątów wysterowania. Porównanie przebiegów zostało zestawione na rysunku 1. Bardzo wyraźnie widać na nim sposób działania sterowania fazowego (załączanie przy danym kącie wysterowania, wyłączanie przy przejściu napięcia przez 0).
* W przypadku obwodów z indukcyjnością, zachowawczość elementu indukcyjnego powoduje, że sterowanie napięciem i mocą jest możliwe dopiero przy kątach większych od kąta przesunięcia fazowego zależnego od charakteru odbiornika
  + W praktyce, aby zmiany przebiegów na oscyloskopie były widoczne, należało ustawić kąt wysterowania o ok. wyższy, niż wynikałoby to z obliczeń (odpowiednio dla obwodu L oraz dla obwodu RL).
  + Zmiany przebiegów przy różnych kątach wysterowania dla tych obwodów zostały przedstawione na rysunkach 2 i 3.
* Analiza przebiegów obwodów L oraz RL z rysunków 2 i 3 pozwala zauważyć takie zjawiska, jak zachowawczość cewki (*gładki* przebieg prądu, bez dużych skoków), kąt przesunięcia fazowego, a także najmniejszy kąt wysterowania możliwy dla danego obwodu.

## Sterowanie impulsowe

* Przebiegi podczas sterowania impulsowego przy różnych ustawieniach współczynnika wypełnienia i okresu impulsowania zostały zestawione na rysunku 4. Można na nich zobaczyć, jak w praktyce wygląda ten typ sterowania. Jego zaletą jest brak wprowadzania zakłóceń do sieci, a także możliwość regulacji mocy odbiornika – o ile ma on odpowiednią stałą czasową - np. grzejnik. W przypadku badanego odbiornika – żarówki – można było zaobserwować jej migotanie. Stąd wniosek, że ten typ sterowania można zastosować również do np. sygnalizacji świetlnej.

## Sterowanie kluczowe

* Sterowanie kluczowe stanowi głównie funkcję rozłącznika, ponieważ jego jedyne możliwości to pełne wysterowanie lub brak wysterowania, czyli stan przewodzenia oraz stan otwarcia łącznika. Jego główną zaletą, jako funkcji rozłącznika, jest możliwość zastosowania w automatyce.