

Jakie kable lubią falowniki

Rozważania na temat zastosowania właściwych kabli łączących falownik z silnikiem należy rozpatrywać w następujących aspektach:

- wpływu rodzaju kabla na wypadkowe obciążenie falownika,
- kompatybilności elektromagnetycznej kabla,
- odporności izolacji kabla na oddziaływanie impulsów napięcia o stromych zboczach,
- jakości i budowy żył przewodzących kabla.

Wszystkie współczesne przekształtniki prądu przemiennego pracują w oparciu o zasadę modulacji szerokości impulsu (PWM). Powyższe warunkuje występowanie w widmie harmonicznych napięcia zasilającego silnik poza pierwszą harmoniczną o regulowanej częstotliwości (zwykle w zakresie 0-60 Hz) pasm wyższych harmonicznych będących wielokrotnością podstawowej częstotliwości modulacji, która jest z reguły nastawiana jednym z parametrów konfiguracyjnych falownika.

Przykładowo dla przekształtników firmy SIEMENS z rodziny Master Drives VC nastawa fabryczna wynosi 2,5 kHz, choć użytkownik może ją zmienić pozostając w zakresie od 1,5 do 16,0 kHz. W zależności od wielkości urządzenia dany przedział dopuszczalnej zmienności częstotliwości impulsowania zmienia się w sposób



rys. 1

Każdy kabel będący układem jednej lub wielu żył przewodzących w ewentualnym ekranie (również przewodzącym) charakteryzuje własna indukcyjność oraz pojemność pasożytnicza. Pojemność wynika z istnienia elementów przewodzących oddzielonych izolatorem. Impedancja w przypadku pojemności jest określona następującym wzorem:

$$Z_c = 1/2\pi f_i C_d L$$

Gdzie: f_i - częstotliwość impulsowania

C_d - pasożytnicza pojemność jednostki długości kabla

L - długość kabla łączącego wyjście falownika z silnikiem

Widzimy zatem jasno, że impedancja maleje wraz ze wzrostem zaprogramowanej częstotliwości impulsów, pojemności właściwej kabla (będącej jego parametrem konstrukcyjnym) oraz długości przewodów zasilających silnik.

Im mniejsza jest wartość wypadkowej impedancji pojemnościowej układu przewodów zasilających silnik, tym większy prąd płynie przez pojemności pasożytnicze. Wartość tego prądu sumuje się z właściwym

obciążeniem przekształtnika, co w krytycznym przypadku prowadzi do konieczności przewymiarowania falownika w aplikacjach z bardzo długimi kablami. Producenci przekształtników niekiedy podają proponowane dopuszczalne długości kabli ekranowanych oraz nie ekranowanych, lecz z natury rzeczy są to dane bardzo szacunkowe, ponieważ w zasadzie nie wiemy o jakiego producenta chodzi. Przy czym większość producentów nie prowadzi nawet badań takich parametrów jak pojemność właściwa dla swoich wyrobów. W wypadku przekształtników rodziny Master Drives VC firma SIEMENS podaje, że możliwe jest zwiększenie o 150% dopuszczalnej długości kabli zasilających silnika przy zastosowaniu przewodów specjalnych PROTOFLEX EMV, które nie są już obecnie produkowane przez koncern. W takim przypadku możliwe jest zastosowanie zamiennika o zgodnych parametrach. Kable TOPFLEX-EMV-2YSLCY-J (do zastosowań wewnętrznych, w izolacji przezroczystej) oraz TOPFLEX-EMV-UV-2YSLCYK-J (do zastosowań zewnętrznych, w izolacji czarnej, które są ponadto odporne na działanie promieni ultrafioletowych) firmy HELUKABEL są dokładnie kompatybilne z PROTOFLEX.

Na uwagę zasługuje tu „jawność” wartości pojemności właściwej kabla zdefiniowana w [nF/km], której wartość zmienia się oczywiście w zależności od przekroju żyły w granicach

od 70 (4x1,5 mm²) do 250 (4x95 mm²) nF/km – wartość między żyłami

od 110 (4x1,5 mm²) do 410 (4x95 mm²) nF/km – wartość między żyłą a ekranem

dla wyższych przekrojów wartość już znacząco nie wzrasta.

Biorąc pod uwagę, że powyższe kable są wykonywane jako czterożyłowe należy przy obliczaniu pojemności wypadkowej uwzględnić, że na jednostkę długości kabla składa się sześć połączonych równolegle kondensatorów między żyłowych oraz cztery zastępcze kondensatory typu żyła/ekran. Pamiętając, że dla połączenia równoległego kondensatorów ich pojemność sumujemy, należy całkowitą pojemność zastępczą obliczać ze wzoru:

$$C_d = 6x C_z + 4x C_e$$

gdzie: C_z – pojemność między żyłami

C_e – pojemność między żyłą a ekranem

Tak więc przykładowo wypadkowa właściwa pojemność pasożytnicza dla kabla 4x16 mm² wyniesie 1760 nF/km.

Natomiast obliczenie wartości prądu płynącego w wyniku występowania zjawiska upływu przez pojemności pasożytnicze można wykonać w oparciu o następujące przykładowe założenia:

- Wartość skuteczna harmonicznej zgodnej z częstotliwością modulacji 2,5 kHz wynosi 15% wartości pierwszej harmonicznej napięcia zasilającego 400V, czyli $0,15 \times 400 = 60V$.

- Napięcie skuteczne powyższej harmonicznej pomiędzy żyłami wynosi zatem 60V, natomiast dla układów sieci z uziemionym punktem zerowym transformatora (nie IT) $0,5 \times 60V = 30V$.

- Zatem sumaryczny upływ prądu między żyłami wynosi dla kabla 4x16 mm² o długości 100 m:

$$I = U / Z_z + U / 2 Z_e = 60V / 758,27 W + 30V / 692,33 W = 0,08A + 0,04A = 0,12A$$

$$Z_z = 1 / 2 \pi f i 6 C_z L = 758,27 W$$

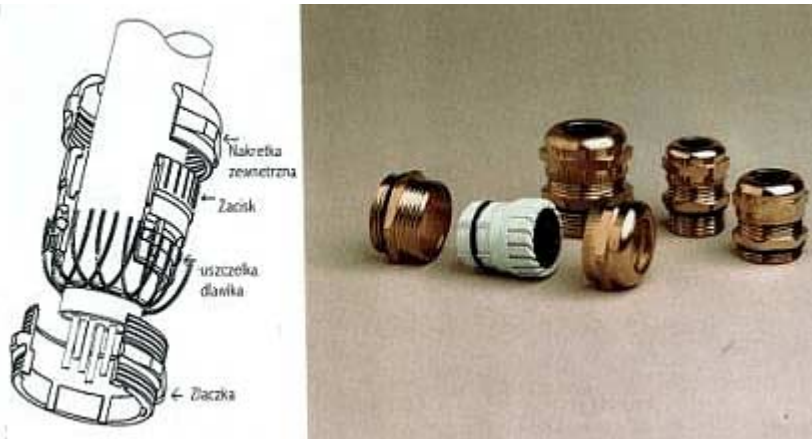
$$Z_e = 1 / 2 \pi f i 4 C_e L = 692,33 W$$

Jak widać powyżej już sama część upływu do ekranu (0,04A) wystarcza do wyeliminowania z gry np. wyłącznika różnicowo-prądowego o znamionowym prądzie wyzwolenia $I_{\Delta n} = 30$ mA. Oczywiście w celu wykonania pełnych obliczeń należy wziąć pod uwagę również dalsze harmoniczne częstotliwości impulsowania.

W konstrukcji kabla zastosowano izolacyjną warstwę dystansową pomiędzy żyłami, a ekranem, która oddalając ekran od żył obniża pojemność C_e .

Drugim istotnym aspektem zastosowania właściwych kabli jest potrzeba spełnienia wymogów kompatybilności elektromagnetycznej. Kable z rodziny TOPFLEX firmy HELUKABEL są wyposażone w podwójny ekran,

składający się z wewnętrznej warstwy foliowej oraz zewnętrznego oplotu elastycznego zapewniających „szczelność elektromagnetyczną” porównywalną z kablami sygnałowymi. Należy w tym miejscu podkreślić, że kable z pojedynczym ekranem oraz tzw. kable opancerzone nie spełniają w pełni wymogów kompatybilności elektromagnetycznej. Nie spełniają jej również nawet najdoskonalsze kable, których ekran nie został obustronnie (na obu końcach) uziemiony, najlepiej na całym obwodzie oplotu ∴. W praktyce osiąga się to np. specjalnymi dławikami z kontaktem dla ekranu (HELUKABEL, typ HSK-MS-E, HSK-MS-E-D lub HSK-MZ-E).



rys. 2

Rozpatrując parametry izolacji kabla do zasilania przekształtnikowego należy rozpatrzyć dwa aspekty: odporności napięciowej na przebicie oraz odporności na stromość narastania napięcia (du/dt). Warunki napięciowe, którym jest poddawana izolacja kabla znacznie różnią się od typowych warunków obwodów sinusoidalnych. Wynika to z faktu zasilania silnika napięciowym przebiegiem prostokątnym o amplitudzie impulsów wynikającej z wartości napięcia w obwodzie pośrednim przekształtnika oraz stromości zboczy wynikającej z czasu przełączania kluczy tranzystorowych falownika. Wobec powyższego wytrzymałość izolacji kabla przy zasilaniu przekształtnika napięciem np. 3x400V AC powinniśmy stosować kabel o podwyższonych parametrach odporności napięciowej 600 V (a nie 400 V jak zwykle) oraz o zwiększonej do ok. 10.000 V/ms wytrzymałości stromościowej. A tak nawiasem jest się nad czym zastanawiać, ponieważ jak wcześniej wspomniano częstotliwość impulsowania typowo wynosi 2,5 kHz, czyli w ciągu sekundy 2,5 tysiąca razy izolacja jest poddawana stresowi stromościowemu.

Dla ciekawych warto podać przy okazji informację, że również izolacja silnika (który przecież bierze udział w grze) powinna być specjalna. Kłania się tutaj tzw. klasa izolacji F. Przy czym niektórzy producenci maszyn opracowali już systemy izolacyjne o wyższych parametrach, i tak na przykład SIEMENS stosuje izolację specjalną typu DURIGNIT[®] IR 2000.

Ostatnim aspektem do analizy jest zalecana budowa samych żył przewodzących kabla. Powinny być one wykonane z wysokogatunkowej (czystej) miedzi oraz należy używać linki, a nie drutu. Typową konstrukcją kabla jest układ czterech żył (3 fazy+PE) w ekranie. Stosowane są przekroje z szeregu typowego dla innych kabli siłowych.

Helukabel z partnerem T-System Projekt

T-System Projekt tel 042/6780266 Helukabel 022/7256680,81

∴ Pełna nazwa, co prawda brzmi – przekształtnik częstotliwości z pośrednim, napięciowym obwodem prądu stałego – ale tak jest prościej, czyż nie ?

∴ Brak obustronnego oddziaływania elektromagnetycznego z innymi urządzeniami elektrycznymi znajdującymi się w jego otoczeniu, definiowany w cywilizowanym świecie normą EN 55011.

∴ W świetle współczesnej wiedzy rozważania na temat, który z końców połączenia kablowego uziemiać należy potraktować, jako rozważania „o wyższości Świąt Bożego Narodzenia nad Świątami Wielkiej Nocy”.