

Н.Г. Новожилов, аспирант (Санкт-Петербургский горный университет)

Научный руководитель О.Б. Шонин, д.т.н., проф. (Санкт-Петербургский горный университет),  
Г. Санкт - Петербург

## **ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ПРИВОДА ПРИ ПРОВАЛАХ НАПРЯЖЕНИЯ В СЕТИ**

*Введение.* Одной из проблем в области частотно-регулируемого привода (ЧРП) является его высокая чувствительность к нарушению качества электрической энергии, особенно к провалам напряжения, которые приводят к срабатыванию защиты минимального напряжения (ЗМН). При срабатывании ЗМН система управления блокирует силовые ключи инвертора, прерывая питание двигателя, в результате чего, двигатель переходит в режим выбега. Наиболее негативные последствия провалы напряжения вызывают на предприятиях с непрерывным технологическим циклом, когда нарушение режима работы одного объекта влечет за собой нарушение всей технологии производства [1-3].

Для разработки и создания системы защиты привода от провалов напряжения первоочередной задачей является исследование влияния провалов на работу привода и определение допустимых границ изменения напряжения, при которых сохраняется работоспособность.

*Цель работы* – Исследование влияния провалов напряжения на работу ЧРП, определение параметров электропривода, влияющих на устойчивость работы, разработка методики оценки устойчивости ЧРП при провалах напряжения.

В настоящее время широкое распространение получил ПЧ выполненный по схеме «выпрямитель - звено постоянного тока – автономный инвертор напряжения». Задача оценки устойчивости ЧРП должна рассматриваться с учетом процессов, происходящих в ЗПТ при снижении напряжения питания. Устойчивость ПЧ принято оценивать с помощью “кривой устойчивости” [4,5], которая представлена на рис.1. Эта кривая строится в прямоугольной системе координат, где по оси абсцисс откладывают время, а по оси ординат напряжение конденсатора и напряжение сети питания в одном масштабе. За начало отсчета по оси времени берется момент возникновения в сети провала напряжения. Кривая задается двумя параметрами: временем  $T_1$  и минимальным напряжением ЗПТ  $U_{мин1}$ . Если остаточное напряжение сети  $U_{ост}$  и длительность провала  $T_n$  не превышают значений  $T_1$ ,  $U_{мин1}$ , то срабатывание ЗМН не происходит, и привод может сохранять

работоспособность. Если глубина и длительность провала напряжения больше допустимых значений (кривая 3 на рис.1), то произойдет отключение привода.

Кривая устойчивости учитывает разряд конденсатора  $U_{dc}(t)$  (кривая 4): параметр кривой устойчивости  $T_1$  соответствует разряду конденсатора до уровня срабатывания ЗМН  $U_{dc}(T_1)=U_{мин1}$ . За счет свойства конденсатора сохранять энергию достигается некоторая устойчивость ПЧ и привода к провалам напряжения в сети. Для оценки устойчивости привода необходимо знать влияние параметров привода и звена DC на скорость разряда конденсатора.

Одним из способов получения зависимости разряда конденсатора при провалах напряжения является использование выражения для напряжения  $U_{dc}(t)$  из уравнения энергетического баланса [6]:

$$U_{dc}(t) = \sqrt{U_{dcном}^2 - \frac{2 \cdot P_{нагр}}{C} \cdot t}. \quad (1)$$

При расчете напряжения по выражению (1) принимают, что мощность нагрузки сохраняется постоянной при кратковременных провалах напряжения  $P_{нагр}=const$ .

В реальности мощность нагрузки изменяется. Рассмотрим зависимость  $U_{dc}(t)$ , которая получена из уравнения баланса активной мощности[7]:

$$U_{dc}(t) = U_{dcном} - \frac{I_{dc}}{C} \cdot t. \quad (2)$$

Сравним выражения (1,2) построив кривые зависимости  $U_{dc}(t)$  для различных значений мощности нагрузки и соответствующего этой нагрузке значения тока ЗПТ. Необходимые для расчета параметры возьмем из компьютерной модели привода построенной в среде MatLab/Simulink, структура которой описана в [8]. Нагрузка двигателя имеет вентиляторную механическую характеристику. Мощность нагрузки в номинальном режиме работы принята равной номинальной мощности двигателя

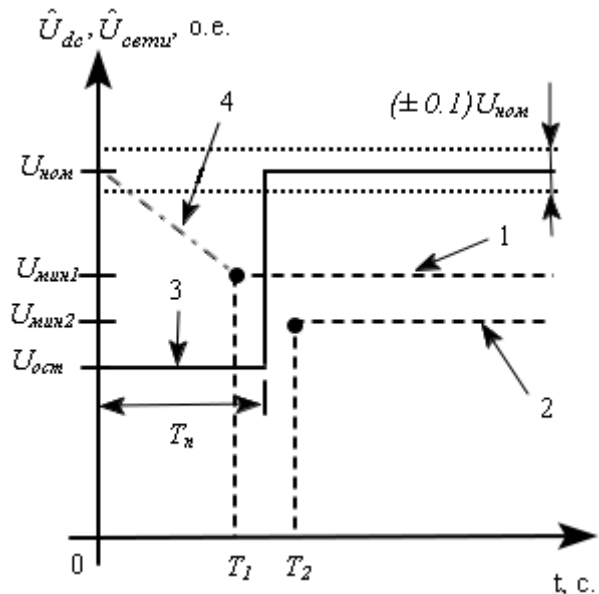


Рис.1 Кривая устойчивости привода при номинальных параметрах привода -1, при ненормальных параметрах привода -2, кривая напряжения сети -3; кривая разряда конденсатора -4

$P_{нагр}=P_{ном}$ , частота вращения в номинальном режиме:  
 $\omega_{ном} = \omega_s - s \cdot \omega_s = 44 \text{ рад/с}$ .

Для построения кривой зависимости разряда конденсатора по выражению (1) определим значение тока  $I_{dc}$  при различных заданиях по частоте вращения:  $\omega_{ном}$ ;  $0,8\omega_{ном}$ ;  $0,6\omega_{ном}$ ;  $0,4\omega_{ном}$ ;  $0,2\omega_{ном}$ . Изменение мощности нагрузки для принятого ряда скоростей определим с учетом выбранного характера нагрузки:  $P_{нагр}(\omega) = \frac{P_{ном}^3}{\omega_{ном}^3} \cdot \omega^3$ .

Результаты сравнения представлены на рис.2, на котором номерам кривых, построенных по формуле (1) присвоен индекс W, а кривым, построенным по формуле (2) - индекс P.

Для оценки устойчивости привода при провале напряжения определим момент времени, при котором кривая разряда  $U_{dc}(t)$  пересечет границу минимального напряжения. При номинальном режиме привода  $\omega=\omega_{ном}$  кривые  $1_P$  и  $1_W$ , пересекают границу в один и тот же момент времени  $0,04\text{с}$ . При изменении режима привода время достижения напряжения  $U_{dc}$  значения  $U_{dc \text{ мин}}$ , меняется. Так при работе привода с частой вращения  $\omega=0,4\omega_{ном}$ , отличие составляет  $\Delta T = T_1 - T_2 = 0,1\text{с}$ .

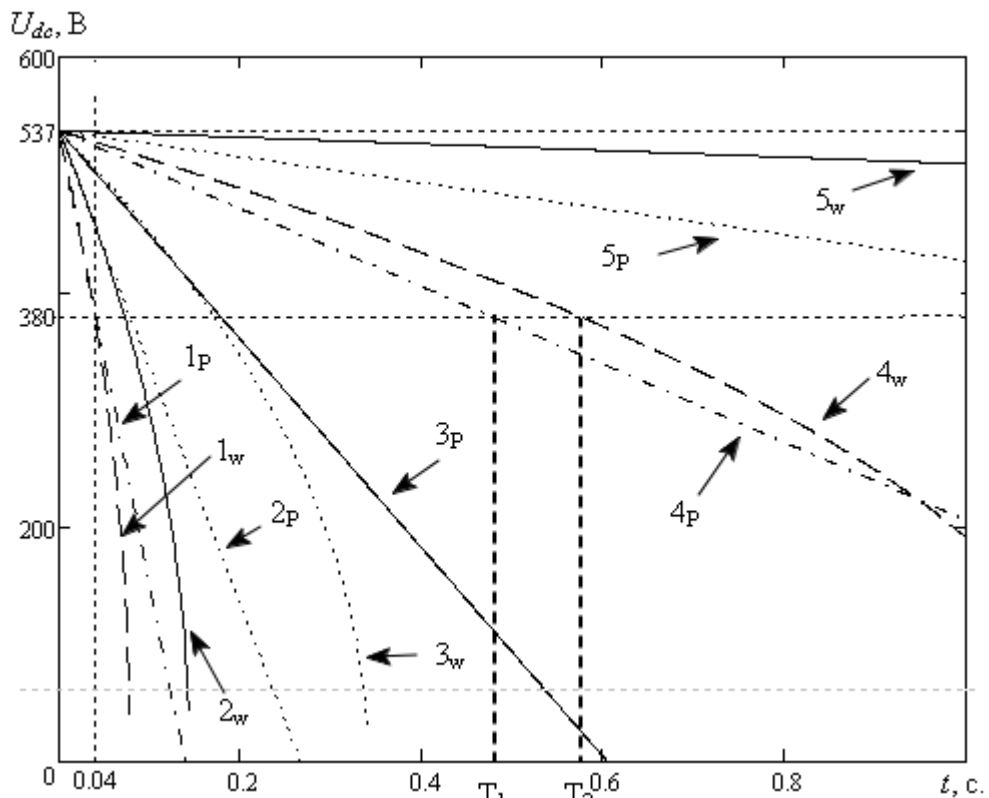


Рис.2 Зависимость напряжения конденсатора от времени при провале напряжения для различных режимов работы привода: кривая 1 -  $\omega=\omega_{ном}$ ; кривая 2 -  $\omega=0,8\omega_{ном}$ ; кривая 3 -  $\omega=0,6\omega_{ном}$ ; кривая 4-  $\omega=0,4\omega_{ном}$ ; кривая 5-  $\omega=0,2\omega_{ном}$

Для определения того, какой из способов оценки устойчивости дает наиболее точный результат, рассчитаем относительную погрешность определения времени достижения минимального значения:

$$\delta_W = \frac{T_m - T_W}{T_m} \cdot 100\% ; \delta_P = \frac{T_m - T_P}{T_m} \cdot 100\% . \quad (4)$$

В выражении (3),  $T_m$  – время разряда конденсатора ЗПТ полученное по результатам компьютерного моделирования привода;  $T_W$  – время разряда конденсатора по выражению (1);  $T_P$  – время разряда конденсатора по выражению (2).

Зависимость относительных погрешностей от относительной скорости вращения, определяющей относительную мощность механической нагрузки, представлена на рисунке 3. Из анализа кривых следует, что расчет времени разряда конденсатора по формуле (2) дает наименьшую ошибку, которая не превышает 6%. Ошибка определения времени разряда по выражению (1) существенно больше, причем с уменьшением мощности нагрузки заметно возрастает.

**Вывод.** Показано что устойчивость работы преобразователя частоты и привода к провалам напряжения в сети питания зависит от времени разряда конденсатора звена постоянного тока. Устойчивость к провалам напряжения зависит от режима работы привода, при котором происходит провал напряжения. С уменьшением потребляемой мощности возрастает устойчивость привода.

Точность оценки устойчивости привода при провалах напряжения зависит от способа расчета зависимости  $U_{dc}(t)$ .

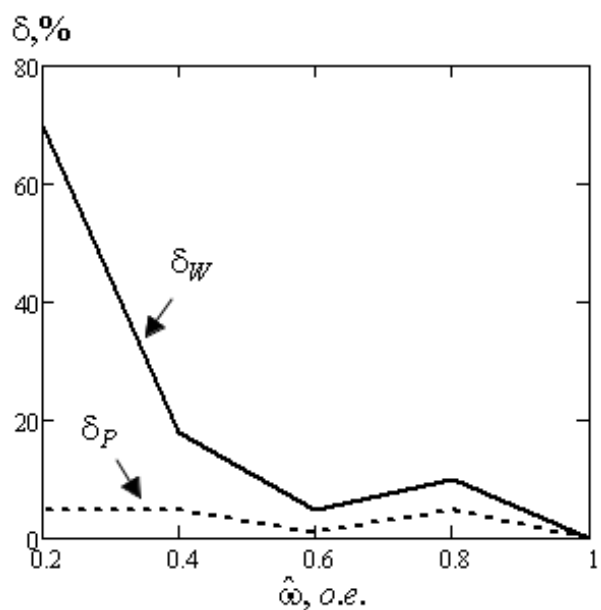


Рис.3 Ошибка определения времени разряда конденсатора в различных режимах работы привода

### Список литературы:

1. Ершов С.В., Жабин Б.А. Особенности определения провалов напряжения в системах электроснабжения // Известия ТулГУ. Технические науки., 2014. - № 8. – с.97-102
2. Dobush V.S. Shklyarskiy A.Y. Voltage dips compensation via boosting transformer cascades // International Journal of Applied Engineering Research., 2016. – V. 11, № 6. - pp 4275-4279
3. Гуревич Ю.Е., Файбисович Д.Л., Хвощинская З.Г. О бесперебойности электроснабжения промышленных потребителей // Электричество ., 1995. - №8. – с. 2-10
4. Deswal S.S., Ratna Dahiya, Jain D.K. Ride through topology of ASD's during power systems faults // Journal of Science, Informatics and Electrical engineering., 2008. - V.2(1).-pp. 2-10
5. Djokic S Ž', Stockman K, Milanovic J V', Desmet J J M and Belmans R Sensitivity of AC Adjustable Speed Drives to Voltage Sags and Short Interruptions// IEEE Transactions on Power Delivery., 2005 - 20(1). - pp 494-505
6. Joachim Holtz, and Wolfgang Lotzkat Controlled AC Drives with Ride-Through Capability at Power Interruption // IEEE Transactions on Industry Applications., 1994. - Vol.30, No.5.,- pp. 1275-1283.
7. Bose B. Power electronics and motor drives// Elsevier inc., 2008. – P.935
8. Шонин О.Б., Новожилов Н.Г., Крыльцов С.Б. Наблюдатель частоты вращения ротора в скалярной системе управления асинхронным электроприводом// Электротехнические системы и комплексы., 2016. - №2(31). – с. 15-19.