

DOI: 10.34286/1995-4646-2020-71-2

УДК

Материал поступил в редакцию 29.12.19.

АЛЬЗАККАР АХМАД, аспирант

Н. П. МЕСТНИКОВ, магистр

АЛХАДЖ ХАССАН ФУАД, аспирант

И. М. ВАЛЕЕВ, доктор техн. наук

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет», Республика Татарстан, г. Казань

ALZAKKAR AHMAD, Postgraduate

NIKOLAI P. MESTNIKOV, master's degree

ALHAJJ HASSANFOUAD, Postgraduate

ILGIZ M. VALEEV, Advanced Doctor in Engineering Sciences

Kazan State Power Engineering University, Respublika Tatarstan, g. Kazan'

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЧАСТОТЫ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ НА УРОВНЕ НАПРЯЖЕНИЯ 400 КВ В СИРИЙСКОЙ АРАБСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

STUDY OF SUPPORT OF FREQUENCY STABILITY IN ELECTRICAL POWER SYSTEMS AT VOLTAGE LEVEL 400 KV IN THE SYRIAN ARAB REPUBLIC

Аннотация. Основываясь на важности электрических соединений для поддержания устойчивости частоты достигнутой в результате проекта восьми соединений арабских энергетических систем, в статье будет представлен ряд симуляций в сирийской сети за 2011 год с использованием (PSS/E). Показано использование этой программы для сравнения данных с результатами реальных ситуаций посредством применения нескольких случаев отключения электроэнергии, произошедших в энергетической системе Сирии (регистрируются по частоте, когда они происходят). Это исследование демонстрирует важность электрического соединения в устойчивости частоты, в котором сообщается о наиболее важных технических и экономических преимуществах, достигнутых для устойчивости электрической сети в целом и устойчивости частоты в рамках проекта (EJLLPST). Прикладное исследование, проводилось через ряд симуляций в сирийской сети в течение 2011 года с использованием PSS / E. Опыт этого исследования был сосредоточен на горячем резерве, электрического соединения и разделения электрических нагрузок с использованием реле пониженной частоты для поддержания устойчивости частоты электрической сети в Сирии и во избежание попадания в нежелательные значения частоты. после этой поправки в графике реле недостаточной частоты в Сирии электрические сети и уменьшить значения сирийских электрических нагрузок разделены, при этом поддержание того же уровня безопасности требуется, чтобы избежать отключения электроэнергии при возникновении помех.

Ключевые слова: горячий резерв, электрическое соединение, частота коллапса, устойчивость.

Abstract. Основываясь на важности электрических соединений для поддержания устойчивости частоты достигнутой в результате проекта восьми соединений арабских энергетических систем, в статье будет представлен ряд симуляций в сирийской сети за 2011 год с использованием (PSS/E). Показано использование этой программы для сравнения данных с результатами реальных ситуаций посредством применения нескольких случаев отключения электроэнергии, произошедших в энергетической системе Сирии (регистрируются по частоте, когда они происходят).

Это исследование демонстрирует важность электрического соединения в устойчивости частоты, в котором сообщается о наиболее важных технических и экономических преимуществах, достигнутых для устойчивости электрической сети в целом и устойчивости частоты в рамках проекта (EIJLLPST). Прикладное исследование, проводилось через ряд симуляций в сирийской сети в течение 2011 года с использованием PSS / E. Опыт этого исследования был сосредоточен на горячем резерве, электрического соединения и разделения электрических нагрузок с использованием реле пониженной частоты для поддержания устойчивости частоты электрического поддержания того же уровня безопасности требуется, чтобы избежать отключения электроэнергии при возникновении помех.

Ключевые слова: горячий резерв, электрическое соединение, частота коллапса, устойчивость.

Введение

За последние два десятилетия арабские страны потратили более 9 млрд долл. на проект соединения электрических сетей [1–3]. В настоящее время завершено 13 проектов, 12 из которых введены в эксплуатацию. Ряд подключенных проектов, которые были введены в эксплуатацию, достигли приемлемой части ожидаемых выгод, в то время как только небольшой процент выгод от других проектов по связям был реализован. Когда мы говорим об электрическом соединении, следует иметь в виду значение горячего резерва [4]. Для того чтобы помочь количественно оценить влияние горячего резерва [5–7], определены следующие коэффициенты:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{N_G} P_{ni} - P_L}{P_L}, \quad P = \frac{\sum_{i=1}^R P_{ni}}{\sum_{i=1}^{N_G} P_{ni}},$$

где r – коэффициент горячего резерва, определяет относительную разницу между максимальной мощностью системы и фактической нагрузки; p –

количество полюсов; $\sum_{i=1}^{N_G} P_{ni}$ – сумма номинальных мощностей всех генерирующих блоков, подключенных к системе; $\sum_{i=1}^R P_{ni}$ –

сумма значений мощности всех блоков, работающих на линейной части их характеристик, т. е. загружены ниже своего предела мощности; P_L – реальная мощность, потребляемая нагрузкой или общей нагрузкой системы.

Изменение общей акушерской мощности:

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_T &= -\sum_{i=1}^{N_G} K_i P_{ni} \frac{\Delta f}{f_n} = -\sum_{i=1}^R K_i P_{ni} \frac{\Delta f}{f_n} \cong -K \sum_{i=1}^R P_{ni} \frac{\Delta f}{f_n} \\ \Delta P_T &= -K_p \sum_{i=1}^{N_G} P_{ni} \frac{\Delta f}{f_n} = -K_p (r+1) P_L \frac{\Delta f}{f_n} \end{aligned} \right\}$$

Деление на P_L дает:

$$\frac{\Delta P_T}{P_L} = -K_T \frac{\Delta f}{f_n},$$

$$K_T = p(r+1)K, \quad \rho_T = \frac{p}{p(r+1)};$$

где K_T – обратная величина спада для общей характеристики генерации системы; ρ_T – падение общей характеристики генерации системы.

Материалы и методы

Программа PSS / E (Power System Simulator for Engineering) – пакет, состоящий из нескольких встроенных программ, предназначенных для исследования систем передачи и генерации электроэнергии в установившемся и динамическом режимах. PSS / E позволяет решать следующие задачи [8]:

- расчет перетоков мощности и всех связанных характеристик сети;
 - динамическое моделирование;
 - оптимизация потоков мощности;
 - анализ последствий аварийных режимов;
 - анализ пропускной способности линий, расчет токов и анализ симметричных и несимметричных коротких замыканий, эквивалентирование системы;
 - анализ статической и динамической устойчивости (PV/QV Analysis);
 - экспорт результатов расчета в Excel).
- Данная программа используется Министерством электричества Сирии для анализа работы электросети.

Результаты исследований и их обсуждение

Проектом EIJLLPST предусмотрено подключение энергосистем Египта, Ирака, Иордании, Ливана, Ливии, Палестины, Сирии и Турции в единую энергосистему [3, 9]. Схема соединения приведена на рисунке 1. Изначально проектом было предусмотрено пятистороннее соединение между Египтом, Ираком, Иорданией, Сирией и Турцией. Далее к проекту подключились Ливан, Ливия и Палестина.

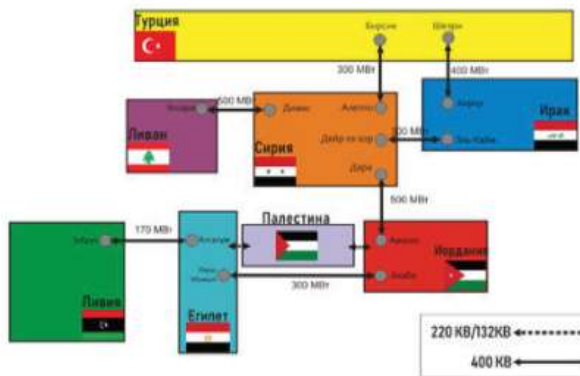


Рисунок 1 – Схема электрических соединений по проекту EIJLLPST [9]

Рисунок 1 – Схема электрических соединений по проекту EIJLLPST [9]

Для исследования частотного поведения в электрической сети Сирии было выбрано 4 различных региона: Таем, Алеппо, Джамдер, Дей Али. Схема приведена на рисунке 2.

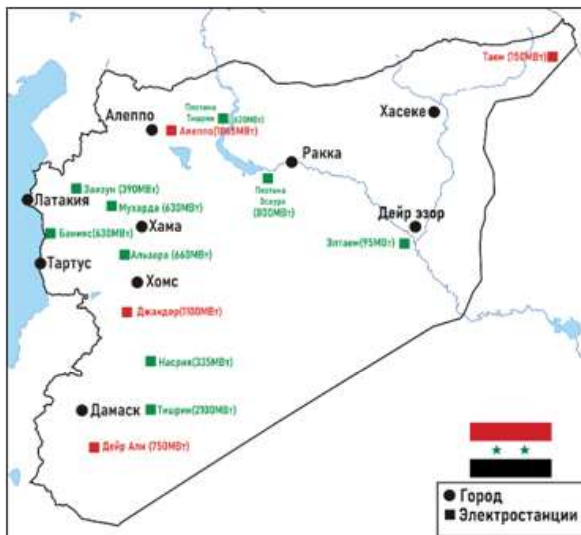


Рисунок 2 – Распределение электростанций в Сирии [10]

Рисунок 2 – Распределение электростанций в Сирии [10]

В данном исследовании с помощью программы PSS/E был показан эффект электрического соединения в повышении устойчивости частоты [11], сравнивая:

1. Устойчивость частоты электрической системы симулирует сирийскую электрическую систему (независимый сетевой случай):

1.1 Частота поведения в случае неисправности:

Предположим, что неисправность на электростанции Дейр Али (750 МВт) в Сирии [12] оторвала ее от работы. Неисправность произошла на шинопроводе 400 кВ. Этот случай представлен с помощью (PSS / E), а результирующая кривая, изображенная на рисунке 3, показывает частотное поведение в случае отказа на станции Дейр Али и ее отклонение от работы при условии, что нет защиты реле [13] от низкой частоты. Обратите внимание, что частота сети упала ниже значения (47,5) Гц, которое является предельным значением и отключает оборудование и системы релейно-цифровой защиты, и, таким образом, произошла поломка сети и

прерывание питания. Падение частоты $\frac{\Delta f}{f}$

было значительным из-за большой доли $\frac{\Delta P_0}{P_L}$ и увеличения нагрузки от генерации [14, 15]:

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta P_0}{P_L}.$$

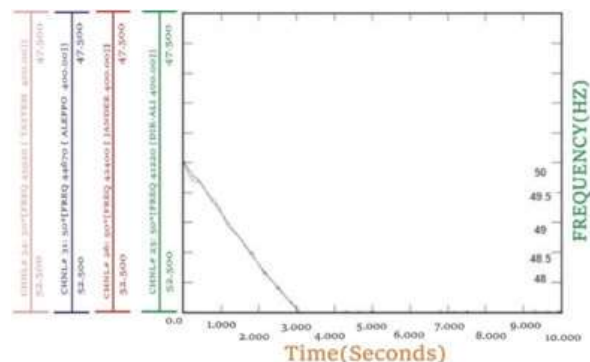


Рисунок 3 – Поведение по частоте в случае неисправности станции Дейр Али без реле защиты от низкой частоты

Рисунок 3 – Поведение по частоте в случае неисправности станции Дейр Али без реле защиты от низкой частоты

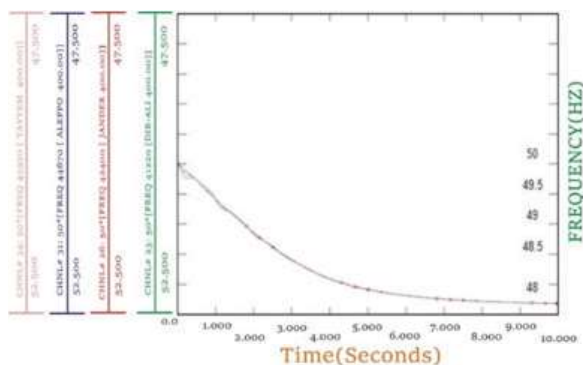


Рисунок 4 – Поведение частоты в случае неисправности на станции Дейр-Али если частотные защиты сирийской сети включены, и были отключены нагрузки первой ступени (Stage I)

Рисунок 4 – Поведение частоты в случае неисправности на станции Дейр-Али если частотные защиты сирийской сети включены, и были отключены нагрузки первой ступени (Stage I)

Если частотные защиты сирийской сети включены, и были отключены нагрузки первой ступени (Stage I), которые отключаются на частоте (49 Гц) и имеют мощность (326 МВт), то результирующая кривая, изображенная на рисунке 4, показывает падение частоты не ниже значения (47,5 Гц), она стабилизировалась на 47,7 Гц. Следовательно, частота не достигла предела, отключающего защиту оборудования для электрической сети, значит, коллапса не произойдет.

Если отключена нагрузка второй ступени (Stage II), которая отключена на частоте (48,5 Гц) и мощность (277 МВт), то появляется кривая, показанная на рисунке 5. Видно значительное влияние отключения нагрузок для поддержания устойчивости частоты, поэтому избегайте коллапс частоты в сирийской сети.

На рисунке 5 показано, что падение частоты $\left(\frac{\Delta f}{f}\right)$ значительно замедлилось, когда

первая и вторая ступени (Stage I, II) нагрузки были отключены, а частота стабилизировалась на очень приемлемом значении 49,7 Гц.

1.2 Частота поведения в случае неисправности и явления горячего резерва:

Мощность генерации сирийской электрической сети на 2011 год составляет около (9000 МВт). Горячий резерв составляет 10 % (900 МВт) от генерирующей мощности. Если мы повторим ситуацию (1.1), но при наличии горячего резерва, получим кривую, показан-

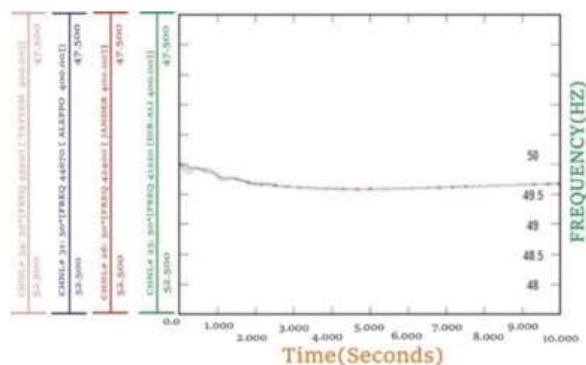


Рисунок 5 – Поведение частоты в случае неисправности на станции Дейр-Али если частотные защиты сирийской сети включены, и были отключены нагрузки первой и второй ступени (Stage I, II)

Рисунок 5 – Поведение частоты в случае неисправности на станции Дейр-Али если частотные защиты сирийской сети включены, и были отключены нагрузки первой и второй ступени (Stage I, II)

ную на рисунке 6. Сравните это с кривой, показанной на рисунке 3. Обнаруживается, что падение кривой частоты значительно снизилось из-за наличия горячего резерва, и частота стабилизировалась на уровне (48,4 Гц), что превышает значение (47,5 Гц) которое является предельным значением и отключает оборудование и систему релейно-цифровой защиты.

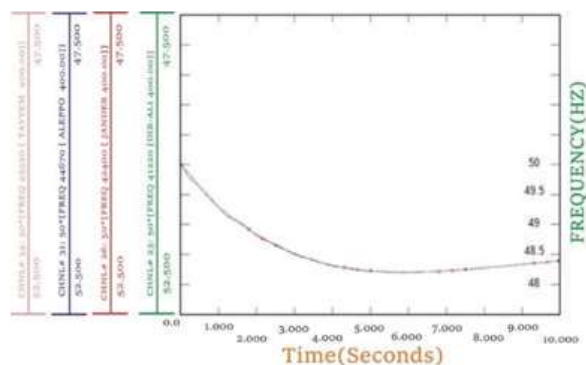


Рисунок 6 – Поведение по частоте в случае неисправности на станции Дейр Али без реле защиты от низкой частоты с горячим резервом (900 МВт)

Рисунок 6 – Поведение по частоте в случае неисправности на станции Дейр Али без реле защиты от низкой частоты с горячим резервом (900 МВт)

Если частотные защиты сирийской сети включены, и были отключены нагрузки первой ступени (Stage I), которые отключены на частоте (49 Гц), а результирующая кривая, изображенная на рисунке 7, показывает, что частота стабилизировалась на уровне (49,65 Гц), и нагрузки второй ступе-

ни (Stage II) отключены на значениях ниже (48,9 Гц), первичный контроль (Stage III) затем возвращает частоту к номинальному значению.

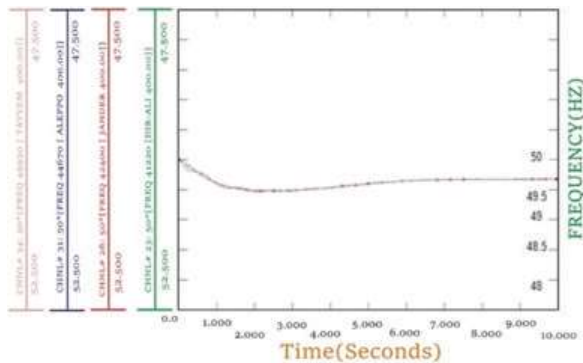


Рисунок 7 – Поведение частоты в случае неисправности на станции Дейр-Али если частотные защиты сирийской сети включены с горячем резервом (900 MWt), и были отключены нагрузки первой ступени (Stage I)

Рисунок 7 – Поведение частоты в случае неисправности на станции Дейр-Али если частотные защиты сирийской сети включены с горячем резервом (900 MWt), и были отключены нагрузки первой ступени (Stage I)

Таким образом, горячий резерв способствовал уменьшению значения отключенных нагрузки увеличил надежность в непрерывности электрического питания.

2. Устойчивость частоты электрической системы симулирует сирийскую электрическую систему в случае связи с Турцией, Ливаном, Палестиной, Иорданией, Египтом и Ливией:

2.1 Частота поведения в случае неисправности:

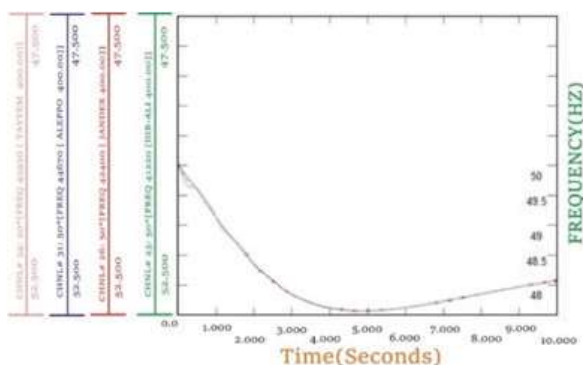


Рисунок 8 – Поведение по частоте в случае неисправности на станции Дейр Али без реле защиты от низкой частоты с активацией электрического соединения между Сирией и соседними странами

Рисунок 8 – Поведение по частоте в случае неисправности на станции Дейр Али без реле защиты от низкой частоты с активацией электрического соединения между Сирией и соседними странами

Повторяем неисправную в ситуацию (1.1) с электрическим соединением без присутствия горячего резерва, получаем кривую, показанную на рисунке 8.

Сравнивая это с кривой, показанной на рисунке 3, обнаруживается, что падение кривой частоты значительно снизилось из-за импортных мощностей соседних стран, способствующих покрытию значительной части дефицита в генерации, возникшего в результате разделения генерирующих станций Дейр Али. Частота стабилизировалась на уровне (48,2 Гц), что больше, чем значение, при котором все защиты электрооборудования разделены (47,5 Гц). Электрическое соединение между странами предотвратило коллапс частоты до нежелательных значений и помогло стабилизировать частоту до значений, выше пороговых значений.

Если частотные защиты сирийской сети включены, и отключены нагрузки первой ступени (Stage I), получаем кривую, показанную на рисунке 9. Сравнивая это с кривой, показанной на рисунке 4, обнаруживаем, что падение кривой частоты значительно снизилось, и частота стабилизировалась на уровне (48,9 Гц).

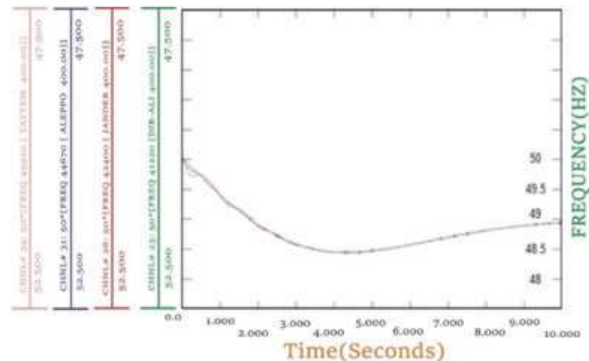


Рисунок 9 – Поведение частоты в случае неисправности на станции Дейр-Али если частотные защиты сирийской сети включены, и были отключены нагрузки первой ступени (Stage I) с активацией электрического соединения между Сирией и соседними странами

Рисунок 9 – Поведение частоты в случае неисправности на станции Дейр-Али если частотные защиты сирийской сети включены, и были отключены нагрузки первой ступени (Stage I) с активацией электрического соединения между Сирией и соседними странами

Если отключены нагрузки второй ступени (Stage II), обнаруживается, что значение частоты, при которой сеть стабилизировалась на (48,9 Гц), равно значению, на котором регулируется защита для отключения на-

грузок второй ступени, получаем кривую, показанную на рисунке 9. При сравнении с рисунком 5, отмечаем, что значение, при котором стабилизированная частота составляет (49,8 Гц), приблизительно соответствует номинальному значению, и превышает значение, при котором частота стабилизировалась в случае независимой сети (49,7 Гц), и нет необходимости отключать нагрузки первичного контроля (Stage III).

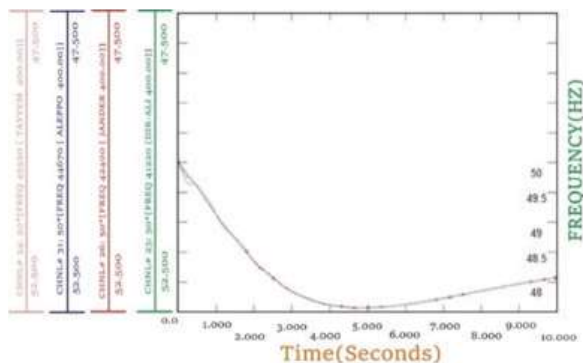


Рисунок 10 – Поведение частоты в случае неисправности на станции Дейр-Али если частотные защиты сирийской сети включены, и были отключены нагрузки первой и второй ступени (Stage I,II) с активацией электрического соединения между Сирией и соседними странами

2.2 Частота поведения в случае неисправности и явления горячего резерва:

Повторяем случай неисправности в ситуации (1.2) с электрическим соединением и с присутствием горячего резерва (200 МВт), получаем кривую, показанную на рисунке 11. Частота стабилизировалась на уровне (49,2 Гц).

Если частотные защиты сирийской сети включены, нет необходимости отключать вторую степень нагрузок (Stage II), потому что частота стабилизировалась после от-

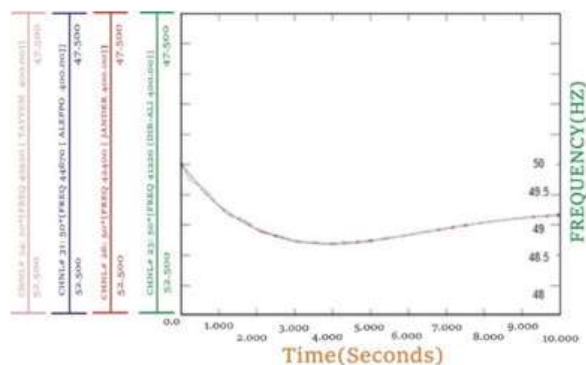


Рисунок 11 – Поведение по частоте в случае неисправности на станции Дейр Али без реле защиты от низкой частоты с горячим резервом (200 МВт) и активацией электрического соединения между Сирией и соседними странами

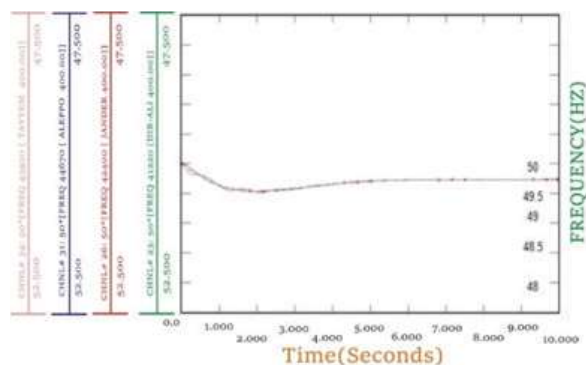


Рисунок 12 – Поведение частоты в случае неисправности на станции Дейр-Али если частотные защиты сирийской сети включены с горячим резервом (200 МВт), и были отключены нагрузки первой ступени (Stage I) и активацией электрического соединения между Сирией и соседними странами

Рисунок 12 – Поведение частоты в случае неисправности на станции Дейр-Али если частотные защиты сирийской сети включены с горячим резервом (200 МВт), и были отключены нагрузки первой ступени (Stage I) и активацией электрического соединения между Сирией и соседними странами

ключения первой ступень (Stage I) нагрузок на величину, приближенную к номинальной величине (49,75 Гц), рисунок 12.

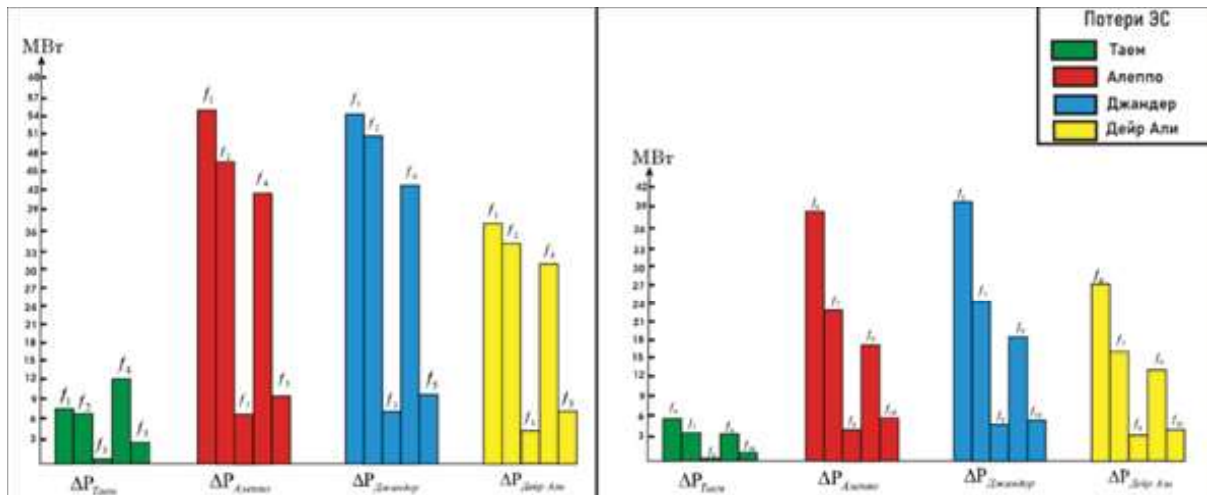


Рисунок 13 – Потери электроэнергии от частоты при независимых и зависимых источниках питания:
– Таем; – Алеппо; – Джандер; – Дейр Али

Рисунок 13 – Потери электроэнергии от частоты при независимых и зависимых источниках питания:
– Таем; – Алеппо; – Джандер; – Дейр Али

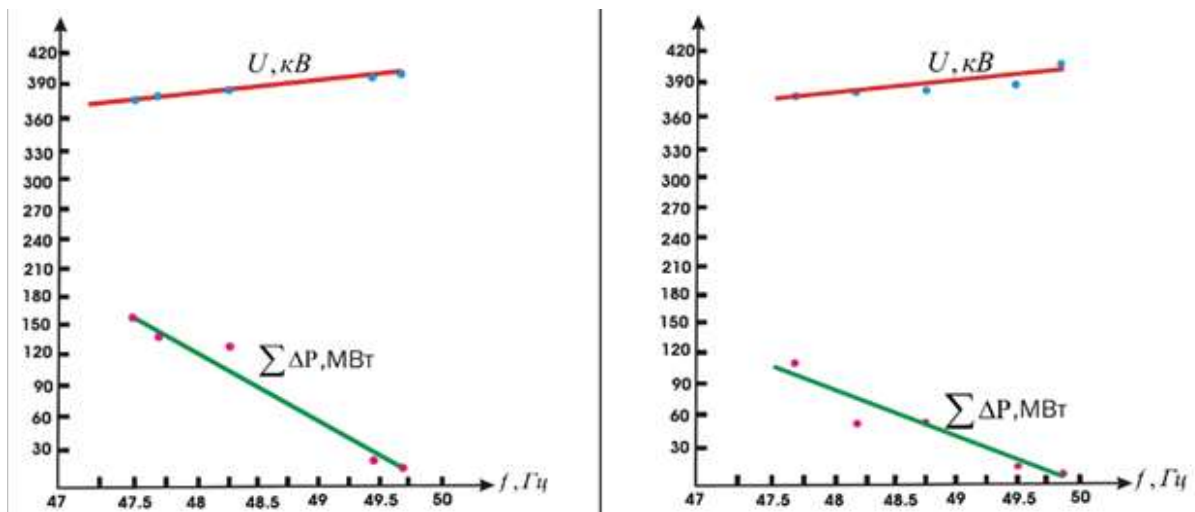


Рисунок 14 – Влияние частоты генерации Р.Г на потери и напряжение в сетях независимых и зависимых источниках питания

Рисунок 14 – Влияние частоты генерации Р.Г на потери и напряжение в сетях независимых и зависимых источниках питания

Таблица 1 – Таблица результатов

Сеть	Ситуация	$f_{\text{мин}}$	$f_{\text{устой}}$	$P_{\text{Таем}}$ МВт	$\Delta P_{\text{Таем}}$ МВт	$P_{\text{Алеппо}}$ МВт	$\Delta P_{\text{Алеппо}}$ МВт	$P_{\text{Джандер}}$ МВт	$\Delta P_{\text{Джандер}}$ МВт	$P_{\text{Джер Али}}$ МВт	$\Delta P_{\text{Джер Али}}$ МВт	$\Sigma \Delta P$ МВт	U кВ
Независимая сеть	Неисправность без горячего резерва	47,5	$f_1=47,5$	142,2	7,5	1011,75	53,25	1045	55	712,5	37,5	153,25	380
	Отключить нагрузки (Stage I)	47,7	$f_2=47,7$	143,1	6,9	1016,01	48,99	1049,4	50,6	715,5	34,5	140,99	381
	Отключить нагрузки (Stage I) + (Stage II)	49,7	$f_3=49,7$	149,1	0,9	1058,61	6,39	1093,4	6,6	745,5	4,5	18,39	397,6
	С горячим резервом ($r = 4 \times 225$ МВт)	48,25	$f_4=48,4$	363	12	1248,72	41,28	1282,6	42,4	943,8	31,2	126,88	387,2
	Отключить нагрузки (Stage I)	49,4	$f_5=49,65$	372,375	2,625	1280,97	9,1	1315,725	9,275	968,175	6,825	27,825	397,2
Связанная сеть	Неисправность без горячего резерва	47,6	$f_6=48,2$	144,75	5,25	1026,66	38,34	1060,4	39,6	723	27	110,19	385,6
	Отключить нагрузки (Stage I)	48,4	$f_7=48,9$	146,7	3,3	1041,57	23,43	1075,8	24,2	733,5	16,5	67,43	391,2
	Отключить нагрузки (Stage I) + (Stage II)	49,8	$f_8=49,8$	149,4	0,6	1060,74	4,26	1095,6	4,4	747	3	12,36	398,4
	С горячим резервом ($r = 4 \times 50$ МВт)	48,75	$f_9=49,2$	196,8	3,2	1097,16	17,84	1131,6	18,4	787,2	12,8	52,24	393,6
	Отключить нагрузки (Stage I)	49,5	$f_{10}=49,75$	199	1	1109,42	5,58	1144,25	5,75	796	4	16,33	398

Выводы

1. Из таблицы 1 заключаем, что в сирийскую сеть должны быть добавлены новые генерирующие блоки, чтобы идти в ногу с непрерывным ростом нагрузок, и, следовательно, частота сирийской сети становится более сбалансированной, с лучшей статической и динамической устойчивостью.

2. На рисунках 13 и 14 видно, что уменьшение значений частоты отрицательно влияет на потери мощности и напряжения.

3. Для достижения лучших результатов устойчивости частоты требуется достаточный горячий резерв, чтобы покрыть дефицит генерации в результате аварийных ситуаций, приводящих к отключению некоторых генерирующих блоков. Это помогает активировать первую и вторую ступень и

повысить устойчивость частоты. Из таблицы 1 видно, что значения, при которых частота стабилизировалась в случае горячего резерва, выше, чем значения частоты при ее отсутствии.

5. Активация системы автоматического контроля генерации (АКГ) в сирийской сети вместо ручного управления способствует более быстрому возврату частоты к ее номинальному значению.

6. Из таблицы 1 делаем вывод, что процесс электрического соединения способствует компенсации нехватки электроэнергии в горячем резерве и поддерживает устойчивость частоты за счет подачи мощности по соединительным линиям во время аварийных ситуаций, а также предотвращает снижение частоты до предельных значений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Координационное управление в Министерстве энергетики САР – некоторые данные о сирийской сети. 2017.
2. [Электронный ресурс]. URL:<http://www.sayedssaad.com/>.
3. Восьмая арабская энергетическая конференция. 2016. 61 с.
4. **Prabha Kundur**. Power System Stability and Control, Electric Power Research Institute, 1993, pp. 1176.
5. **Gillian R. Lalor**. Frequency Control on an Island Power System with Evolving Plant Mix-University College Dublin September 2005, pp. 200.
6. **Jan Machowski, JanuszBialek, James Bumby** 2008-Power System: Dynamics Stability and Control-Second Edition, John Wiley & Sons, Ltd.pp. 629.
7. Jianhua Chen, Wenchuan Wu-A spinning reserve allocation method for power generation dispatch accommodating large-scale wind power integration-Energies-2013. pp. 5359–5381.
8. **Казакула А.** Промышленные программно-вычислительные комплексы в электроэнергетике. Издательство АмГУ. 2013. 88с.
9. Middle East and North Africa Integration of Electricity Networks in the Arab World Regional Market Structure and Design- Report No: ACS7124-2013.
10. Годовой статистический отчет Сирийской электрической сети. 2016.
11. P. F. Le Roux, R.C. Bansal-Transient stability control by means of under-frequency load shedding and a hybrid control scheme-Journal of Energy in Southern Africa. 2017. pp. 41–53
12. Natural Gas Pipelines: Problems from Beginning to End-www.foodandwaterwatch.org-2013.
13. **James R. Jones** and William D. Kirkland-1988-Computer Algorithm for Selection of Frequency Relays for load Shedding- p21.IEEE.
14. **Bashar Sabeeh-Chin Kim Gan**Power System Frequency Stability and Control: Survey-<https://www.researchgate.net>, 2016. pp.179–187.
15. John Undrill -Primary Frequency Response and Control of Power System Frequency- Energy Analysis and Environmental Impacts Division Lawrence Berkeley National Laboratory-2018. pp. 66.

REFERENCES

- 1.Координационное управление в Министерстве энергетики САР – некоторые данные о сирийской сети.2017.
- 2.[Электронный ресурс]. URL:<http://www.sayedssaad.com/>.
3. Восьмая арабская энергетическая конференция. 2016. 61 с.
- 4.Prabha Kundur. Power System Stability and Control, Electric Power Research Institute, 1993 pp. 1176.
- 5.Gillian R. Lalor. Frequency Control on an Island Power System with Evolving Plant Mix-University College Dublin September 2005, pp. 200.
- 6.Jan Machowski, JanuszBialek, James Bumby 2008-Power System: Dynamics Stability and Control-Second Edition, John Wiley & Sons, Ltd.pp. 629.
- 7.Jianhua Chen, Wenchuan Wu-A spinning reserve allocation method for power generation dispatch accommodating large-scale wind power integration-Energies-2013. pp. 5359–5381.
- 8.Казакула А. Промышленные программно-вычислительные комплексы в электроэнергетике. ИздательствоАмГУ.2013.88с.
9. Middle East and North Africa Integration of Electricity Networks in the Arab World Regional Market Structure and Design- Report No: ACS7124-2013.
10. Годовой статистический отчет Сирийской электрической сети. 2016.
11. P. F. Le Roux, R.C. Bansal-Transient stability control by means of under-frequency load shedding and a hybrid control scheme-Journal of Energy in Southern Africa. 2017. pp. 41–53
12. Natural Gas Pipelines: Problems from Beginning to End-www.foodandwaterwatch.org-2013.
- 13.James R. Jones and William D. Kirkland-1988-Computer Algorithm for Selection of Frequency Relays for load Shedding- p21.IEEE.
- 14.Bashar Sabeeh-Chin Kim GanPower System Frequency Stability and Control: Survey-<https://www.researchgate.net>

www.researchgate.net, 2016. pp.179–187.

15. John Undrill -Primary Frequency Response and Control of Power System Frequency- Energy Analysis and Environmental Impacts Division Lawrence Berkeley National Laboratory-2018. pp. 66.

Альзаккар Ахмад, аспирант

Ahmadalzakkar86@gmail.com

Местников Николай Петрович, магистр

sakhacase@bk.ru

Алхадж Хассан Фуад, аспирант

Fouadhajjhassan42@gmail.com

Валеев Ильгиз Миргалимович, доктор техн. наук

ilgizvaleev@mail.ru.